

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

der Universität München

Direktor: Prof. Dr. E. Sonnadend

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS RANDSPALTVERHALTEN

BEI COMPOSITE - FÜLLUNGSMATERIALIEN

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

JOHANN JOSEF MARTIN

Zahnarzt

aus

Kempton

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. E. Sonnabend

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 5.10.1976



A.	Einleitung	Seite 1
B.	Composite - Füllmaterialien	3
I.	Das Wesen der Composite-Füllmaterialien	3
II.	Die Verbesserungen der Composites gegenüber den herkömmlichen Füllungskunststoffen	5
III.	Die Entwicklung der Säure - Ätz - Technik	8
C.	Literaturübersicht	11
I.	Untersuchungsmethoden zur Beurteilung des Füllungsrandspaltes	11
II.	Untersuchungsberichte über das Randspalt- verhalten bei Composite-Füllungsmaterialien	15
D.	Material und Methode	19
I.	Vorbemerkung	19
II.	Materialien	19
III.	Versuchsbeschreibung	22
E.	Ergebnisse	30
I.	Adaptic, nachbearbeitet mit Hartmetallfeinnier	30
II.	Adaptic, nachbearbeitet mit Diamantschleifkörper	35
III.	Concise	40
IV.	Concise Enamel Bond	44
V.	Estic	48
VI.	Palakav	53
VII.	Palakav, vorher mit 37% Phosphorsäure angeätzt	59
F.	Kritische Beurteilung	62
G.	Zusammenfassung	69
H.	Schrifttum	72
I.	Lebenslauf	81

A. Einleitung

WANNENMACHER fordert unter anderem in seinen vier Zielen der Füllungstherapie die "Formung des heteroplastischen Defektverschlusses - also der Füllung - in einer Weise, daß ein vollkommener Dauerverband gesichert wird und ebenfalls eine Sekundärerkrankung in der Umgebung der Füllung ausgeschlossen ist". Dieser Forderung nach einem absoluten Randschluß unter allen Bedingungen, die in der Mundhöhle auftreten, werden die meisten heute in der zahnärztlichen Praxis verwendeten Füllungsmaterialien nicht in vollem Umfang gerecht.

Ursachen und Folgen dieses Mangels sind hinreichend bekannt, jedoch ist es bis heute noch nicht gelungen, diese Crux der Zahnerhaltung beziehungsweise Füllungstherapie zu beseitigen. Die Ursachen sind zum einen in den Materialeigenschaften der Füllungswerkstoffe begründet: Abbinde- bzw. Aushärtungskontraktion, Wasseraufnahme und ein von der Zahnhartsubstanz abweichender thermischer Ausdehnungskoeffizient. Ein weiterer Grund liegt aber auch in einer teilweise fehlerhaften Verarbeitung der Materialien durch die Zahnärzte selbst. Als Folge dieser Randspaltbildung entstehen dann Retentionsnischen zwischen Füllungsmaterial und Kavitätenwand, die ein Eindringen von Speichel, Speiseresten und Bakterien ermöglichen, dadurch die Belagbildung begünstigen und letztlich zu einem Kariesrezidiv, der sekundären Randkaries führen. Durch Randschlußmängel bei Frontzahnfüllungsmaterialien entstehen über diese Einlagerungen zusätzlich störende, unschöne Verfärbungen.

Zahlreiche, in der Folge beschriebene wissenschaftliche Untersuchungen haben sich mit dem Randspaltproblem bei allen Füllungsmaterialien beschäftigt. Es ist mit den verschiedensten Forschungsmethoden gelungen, bei jeder Art von Füllungen Spalten, von R.W. PHILLIPS auch als "Mikroundichtigkeiten" bezeichnet, nachzuweisen. Vor allem die Kunststoff-

Füllmaterialien, die jüngste Gattung der Füllwerkstoffe, wurden in vielen Arbeiten auf ihre Verwendungsmöglichkeit für die zahnärztliche Füllungstherapie geprüft. Die Ergebnisse zeigten jedoch, daß gerade diese Materialgruppe sowohl eine hohe Polymerisationskontraktion, als auch eine erhebliche Volumeninstabilität unter Temperatureinflüssen aufweist, also Eigenschaften, die unmittelbar zur Randspaltbildung, Randverfärbung und Randkaries führen. Die Folge dieser Erfahrungen war, daß die zunächst mit Begeisterung aufgenommenen Füllungskunststoffe wieder zunehmend aus den zahnärztlichen Praxen verbannt wurden.

Gegen Ende der sechziger Jahre kam nun eine neue Gruppe von Kunststoff-Füllmaterialien auf den Markt, von den Herstellern vielleicht euphorisch als "neue Generation der Füllungskunststoffe" bezeichnet, die Composite-Materialien. Neben anderen Verbesserungen sollen sich diese neuen Kunststoffe auch hinsichtlich ihrer Volumenkonstanz und damit auch ihrer verbesserten Randqualität weit von den herkömmlichen Kunststoffen unterscheiden. Inwieweit nun diese Composites der eingangs erwähnten Forderung von W A N N E N M A C H E R entsprechen, ist die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung.

B. Composite - Füllmaterialien

I. Das Wesen der Composite - Füllmaterialien

Ein großer Schwachpunkt der herkömmlichen selbstpolymerisierenden Füllungskunststoffe - chemisch handelt es sich in ihrer Mehrzahl um Methylmethacrylate - ist ihre starke Kontraktion während des Polymerisationsvorganges. Die Angaben in der Literatur schwanken von 2,5 bis 8 %. Ferner weicht ihr thermischer Ausdehnungskoeffizient - berechnet mit $80 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ - von dem der Zahnhartsubstanzen ($11 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$) erheblich ab. Weiterhin besitzen sie eine vergleichsweise hohe Wasserabsorption. Diese drei Faktoren sind entscheidend für den schlechten Randschluß bei Füllungen mit konventionellen Kunststoffen. Weitere mangelhafte Eigenschaften sind ihre geringe Härte und Abrasionsfestigkeit und auch eine nicht zu übersehende Toxizität gegenüber der Pulpa. Letztlich zeigen sie noch eine hohe Farbinstabilität.

Zahnärztliche Forschergruppen in Zusammenarbeit mit der Industrie waren daher immer bemüht, Verbesserungen auf dem Gebiet der Kunststoff-Füllmaterialien zu schaffen. Sie strebten an, Kavitätenfüllstoffe zu finden, die nicht nur hinsichtlich der Ästhetik, sondern auch in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften den Zahnhartsubstanzen, insbesondere dem Schmelz, angenähert werden konnten. Diese intensiven Bemühungen führten schließlich zur Entwicklung der Composite-Füllmaterialien.

Diese Composites unterscheiden sich in ihrem chemischen Aufbau grundsätzlich von den bisher verwendeten Füllungswerkstoffen, da sie - wie der Name sagt - zusammengesetzte Materialien sind. Sie enthalten zwei verschiedene Komponenten, ein organisches Basismaterial und einen anorganischen Füllstoff, während Silikatzement, Amalgam und Gold rein anorganischer, die herkömmlichen Kunststoffe rein organischer Natur sind.

Auf Grund ihrer organischen Basis lassen sich die Composites in zwei Gruppen unterteilen:

Die Art, die Form und der volumenmäßige Anteil der anorganischen Füllstoffe sind bei allen Composites in den einzelnen Präparaten unterschiedlich: Glas, Quarz, Barium-, Aluminium- und Lithiumsilikate, Hydroxylapatit und Phosphate werden in Form von Perlen, Stäbchen und Splintern zugesetzt. Nach Angaben der Hersteller, die zum Teil von S C H R Ö D E R auch bestätigt worden sind, schwankt ihr Gehalt zwischen 42 Vol% bis zu 76 Vol%. Nach M C L E A N und S H O R T hat sich ein Gehalt an anorganischen Füllstoffen von ungefähr 70 Vol% als am günstigsten erwiesen.

Durch eine Vorbehandlung der Füllstoffe - als Silanisierung bezeichnet - mit organischen Siliziumverbindungen, sogenannten Silanen, wird die Verankerung der anorganischen Partikel in der organischen Matrix verbessert. Dabei werden diese Füllstoffe mit einer dünnen Schicht des Silans überzogen, das sich einmal mit dem Füllpartikel und zum zweiten mit dem Basismaterial chemisch verbindet. Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen (R I E D E L und Mitarbeiter) konnte nachgewiesen werden, daß nach dieser Vorbehandlung ein fließender, spaltfreier Übergang zwischen Füllstoff und Grundsubstanz zustande kommt.

Als Katalysatoren bei der Polymerisation der Bowen-Kunststoffe dienen Benzoyl-Peroxyde mit verschiedenen Zusätzen, als Akzeleratoren werden Dimethyl-4-Toluidin und aromatische tertiäre Amine verwendet. Eine Sonderstellung nimmt dabei Palakav ein. Ihm ist ein alkylboranhaltiger Katalysator (Tri-n-butylboran) zugesetzt, der über eine Pfropfpolymerisation zwischen dem Monomer des Kunststoffes und dem Kollagen des Dentins eine echte chemische Bindung des Füllungsmaterials an das Dentin erreichen soll.

II. Die Verbesserungen der Composites gegenüber den herkömmlichen Füllungskunststoffen

Die Entwicklung der Composite-Füllungsmaterialien brachte im Vergleich zu den konventionellen selbstpolymerisierenden Kunststoffen eine Reihe von grundlegenden Verbesserungen, die vor allem hinsichtlich des in dieser Arbeit zu untersuchenden Randspaltproblems von Bedeutung sind.

Als erstes konnte die Polymerisationsschrumpfung wesentlich vermindert werden. Sie liegt bei den herkömmlichen Methacrylat-Kunststoffen zwischen 2,5 - 8 Vol% (die Angaben bei den einzelnen Autoren schwanken) und konnte auf 0,5 - 2 % reduziert werden. Gründe hierfür sind einmal die Verminderung des Monomeranteils durch den Zusatz der anorganischen Füllstoffe und zum zweiten die Verwendung eines neuen Monomers, speziell bei den Composites nach der Bowen-Formel, da die hohe Schrumpfung der Methacrylate ihre Hauptursache in der starken Polymerisationskontraktion der monomeren Methylmethacrylsäure hat, die von W E I K A R T mit 23 Vol% angegeben wird.

Weiterhin weisen die Composites einen deutlich geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf. Er konnte von 80 ppm/°C bei den herkömmlichen Kunststoffen auf 18 - 45 ppm/°C bei den Composites gesenkt werden. Diese Reduzierung gelang ebenfalls durch den hohen Volumenanteil der anorganischen Füllstoffe, deren eigener Ausdehnungskoeffizient dem des Schmelzes weitgehend ähnlich ist. Die Differenz zum Ausdehnungskoeffizienten des Schmelzes (11 ppm/°C) ist also bedeutend vermindert. Bei thermischen Wechselbelastungen, die beim raschen Verzehr heißer und kalter Speisen hintereinander entstehen, wird somit auch die von S P R E T E R V O N K R E U D E N S T E I N beschriebene Wirkung des "Pumpeffektes" vermindert. Dieser Effekt entsteht durch die unterschiedliche thermische Ausdehnung von Schmelz und Füllungsmaterial und führt unter wechselnden Temperatureinflüssen zu einer Vergrößerung beziehungsweise Verkleinerung des Spaltraumvolumens zwischen Füllung und Kavitätinnenwand. Dadurch kommt es zum Einsaugen beziehungsweise Auspressen von Speichel und der darin vorhandenen Speisereste und Mikroorganismen, wodurch die Gefahr der Randkaries weiter erhöht wird.

Durch ihren Gehalt an anorganischen Füllstoffen und die dreidimensionale Vernetzung der Moleküle untereinander zeichnen sich die Composites gegenüber den Methylmethacrylaten weiterhin aus durch eine größere Endhärte, eine höhere Abrasionsresistenz, eine größere Druck- und Zugfestigkeit und ein höheres Elastizitätsmodul. Wasserlöslichkeit und Wasserauf-

nahme mit der Folge einer Quellung der Füllung sind vermindert, ebenso umgekehrt eine Schrumpfung des Füllungswerkstoffs beim Austrocknen.

Einen direkten Vergleich zwischen den Eigenschaften der Composite-Füllungsmaterialien, den konventionellen selbstpolymerisierenden Kunststoffen, den hauptsächlich verwendeten anderen Füllungsmaterialien (Silikatzement und Amalgam) und den Zahnhartsubstanzen ermöglicht die nachfolgende Tabelle. Sie ist einer Arbeit von C A S T A G N O L A und G E R B E - R O G L I O entnommen und beruht im Wesentlichen auf den Untersuchungen von L E E , S W A R T Z und S M I T H .

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften von Kompositions-materialien im Vergleich mit konventionellen Kavitätenfüllstoffen und den Zahnhartsubstanzen

Eigenschaften	Zahnsubstanzen	Amalgam	Silikat	konvent. selbsth. Ku-Stoffe	Composites
Härte (Knoop)	S ⁺ : 300 D.: 65	90	70	16 - 20	70 - 100
Druckfestig- keit(kg/cm ²)	S.: 4160 D.: 3010	1120- 4007	1400- 1616	773	1265-2520
Zugfestig- keit(kg/cm ²)	D.: 527 S.: 105	525-597	30-70	210-358	239-470
Schrumpfung b.d. Erhär- tung i. Vol. %	---	Expans. 0-20 μ	3,3	6-8	0,4-2,7
therm. Exp koef. ppm/ $^{\circ}$ C	11	25	7	80	18-45
Löslichkeit i. Gew. % nach 60 Tg.	---	0,9-2,4	2,2-3,3	0,7	0,1-0,5
H ₂ O-Aufn. in Gew. %	---	0,8	1,0-5,0	1,8-3,3	0,7-1,5

+ S. = Abkürzung für Schmelz

D. = Abkürzung für Dentin

Unterschiede zwischen Composite-Kunststoffen und herkömmlichen Füllungskunststoffen zeigen sich auch in den von den Firmen angebotenen Handelsformen. Während die konventionellen Autopolymerisate auf Methylmethacrylatbasis fast ausschließlich aus Pulver (Polymer) und Flüssigkeit (Monomer + Katalysator) bestehen, findet man bei den Composites kein einheitliches System mehr. Sie können in Form von zwei Pasten (Monomergrundpaste und Katalysatorpaste), als Paste mit Katalysatorflüssigkeit und als Pulver und Flüssigkeit angemischt werden.

III. Die Entwicklung der Säure - Ätz - Technik

Neben der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der Kunststoff - Füllungsmaterialien, die sich auch in einer verbesserten Randspaltqualität ausdrücken soll, wurden auch zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, die Füllung in der Kavität, insbesondere am Schmelzrand besser zu verankern. Durch diese erhöhte Adhäsion will man zweierlei erreichen: Einmal soll der Randspalt zwischen Füllung und Kavitätenwand auf ein Minimum reduziert werden, zweitens soll damit auch ein besserer Halt der Füllung in der Kavität erzielt werden, so daß die Forderung von B L A C K nach der Schaffung einer ausreichenden Retentionsform, der mitunter ein erheblicher Teil gesunder Zahnhartsubstanz - besonders im Frontzahnbereich - geopfert werden mußte, abgeschwächt werden kann.

Für eine verbesserte Adhäsion und einen besseren Randschluß der Kunststoff-Füllmaterialien macht B U O N O C O R E mehrere Faktoren verantwortlich:

1. eine starke Oberflächenvergrößerung durch das Anätzen mit Säure;
2. die Freilegung des organischen Systems, das sich als ein Netzwerk darbietet, in und um das sich der Kunststoff binden kann;
3. eine neue Oberflächenformation durch den Ausfall neuer Substanzen (z. B. Ca-Oxalat), an die sich Akrylat gerne bindet;

4. Entfernung aller trägen Schmelzoberflächenbestandteile und Freilegung einer neuen, reaktionsbereiten Oberfläche;
5. die Anwesenheit einer Schicht mit polaren Phosphatgruppen an der Schmelzoberfläche durch die Säure.

B U O N O C O R E hat 1955 bereits Versuche auf diesem Gebiet beschrieben: Er hat den Schmelz mit Phosphormolybdän-Oxalsäure und mit 85 % Phosphorsäure vorbehandelt. Phosphormolybdän soll die oberflächlichen Schmelzschichten entfernen, die Oxalsäure darauf mit den tieferen organischen Schmelzbestandteilen in einer Austausch- oder Fällungsreaktion reagieren und so eine für den Füllungskunststoff aufnahmebereite Oberfläche schaffen. Bei dem Versuch mit Phosphorsäure soll durch bloße oberflächliche Entkalkung des Schmelzes ein besserer Halt der Füllung möglich werden. In seinen Ergebnissen berichtet er, daß er durch die Vorbehandlung mit dem System Phosphormolybdän (50 %) - Oxalsäure (10 %) eine 25-fach verbesserte Adhäsion für Akrylate erreicht hat. Durch eine Vorbehandlung mit Phosphorsäure (85 %) ist die Adhäsion jedoch um das 100-fache verstärkt worden.

D. E. C A D W E L L und B. J O H A N N E S E N versuchten die Adhäsion der Kunststoff-Füllungsmaterialien durch Vorbehandlung des Schmelzes mit Silbernitrat und mit Zitronensäure zu erhöhen. Silbernitrat ist dabei zwar geeignet, den Füllungshalt zu verbessern, seine klinische Anwendung verbietet sich jedoch wegen der Verfärbungen des Schmelzes durch das reduzierte metallische Silber. Bei der Verwendung von 0,2 normaler Zitronensäure als Ätzflüssigkeit stützen sie sich auf die Untersuchungen von U Y und C H A N G , die herausfinden, daß sich Zitronensäure für diese Zwecke besser eignet, als andere organische Säuren. Beide Forscherteams berichten in ihren Ergebnissen, daß die Vorbehandlung mit Zitronensäure die Adhäsion zu steigern vermag.

L A S W E I L I , W E I K und R E G E N O S berichten von Ätzversuchen mit Phosphorsäure. Sie verwenden im Gegensatz zu B U O N O C O R E nur 50 % Säure, erreichen aber

ebenfalls eine erheblich verbesserte Haftung des Füllungs-materials am Schmelz.

Auf Grund dieser und noch weiterer Forschungsergebnisse entwickelte sich die Säure-Ätz-Technik in Verbindung mit Composite-Materialien bei der Füllungstherapie mit Kunststoffen. Dabei geben die Hersteller heute ausnahmslos Phosphorsäure - jedoch unterschiedlich konzentriert - als Ätzflüssigkeit an, da sie sich als am wirkungsvollsten und auch in der Anwendung am einfachsten erwiesen hat. Eine Schädigung der Pulpa durch die Säure ist nicht zu befürchten, da die Phosphorsäure im Phosphatzement zum Teil noch höher konzentriert ist und hier ebenfalls keine Pulpenschädigung eintritt.

Über die Einwirkung der Phosphorsäure werden die Schmelz-prismen an der Oberfläche je nach Mineralisationsgrad angeätzt und die interprismatische Substanz teilweise ausgelöst. Dadurch wird die Schmelzoberfläche vergrößert und es entstehen zusätzlich Retentionsnischen (von der 3 M - Company mit 10 - 30 μ angegeben), die dem Füllungskunststoff eine verbesserte mechanische Haftung ermöglichen. Bei manchen Präparaten dient als Haftvermittler zwischen dem eigentlichen Composite-Material und dem Schmelz das reine Bowen-Harz in flüssiger Form, das auf den angeätzten Schmelz aufgetragen wird und sich mit dem später applizierten Composite chemisch fest verbindet, da das flüssige Harz besser in die Mikrovertiefungen eindringen kann.

Die bis zum heutigen Zeitpunkt bekanntesten Marken-präparate dieser sogenannten "Säure-Ätz-Technik-Composites" dürften Enemalite, Restodent, das Nuva-System, Estic und Concise-Enemal-Bond sein.

C. L i t e r a t u r ü b e r s i c h t

I. Untersuchungsmethoden zur Beurteilung des Füllungsrandspaltes

Wegen der Bedeutung des Randspaltes für die Qualität einer Füllung wurden schon zahlreiche Untersuchungen über diese Füllungseigenschaft durchgeführt. Die einzelnen Untersucher bedienten sich dabei mehr oder weniger aufwendiger Untersuchungsmethoden, die zum Teil nur eine reine qualitative Aussage ermöglichten, in anderen Fällen auch quantitative Ergebnisse lieferten. In diesem Abschnitt soll ein Überblick über die verschiedenen Untersuchungsmöglichkeiten gegeben werden.

Neben der rein klinischen enoralen Nachuntersuchung von Füllungen mit Spiegel und Sonde, eventuell noch unter Zuhilfenahme einer Lupe, - es liegen Arbeiten vor von L Ü T T G E, S C H U L Z E - L A N G E N D O R F F, C.-H. F I S C H E R, K N O L L E und T A N -, werden bisher hauptsächlich fünf Methoden angewendet, den Randspalt bei Füllungen zu überprüfen:

1. Farbstoffdurchdringungsversuche
2. Druck-Meßversuche
3. Bakteriendurchdringungsversuche
4. Isotopenstudien
5. optische Untersuchungen

zu 1:

Bei Farbstoffdurchdringungsversuchen werden Füllungen, die in extrahierten Zähnen gelegt worden sind, mit verschiedenen Farblösungen (Prontosil, Methylenblau, Kongorot, Fuchsin) überschichtet und nach Sektionierung die am Rand eingedrungene Farbstofftiefe gemessen. Erstmals wurde diese Methode von M. F I S C H E R angegeben. K R Ö N C K E und M O G G untersuchten auf diese Weise das Frontzahnfüllungsmaterial Cadurit, T A N I und B U O N O C O R E verschiedene Kunststoff-Füllungsmaterialien. S T Ü B E N und

K Ö C K prüften damit Palakav. C H R I S T E L modifizierte diese Methode, indem er über Iontophorese den dissoziierbaren Farbstoff Prontosil soluble rubrum in den Spalt von Palavit-Füllungen einbrachte. In manchen Arbeiten wird die Randständigkeit der Füllungsmaterialien an mit dem zu untersuchenden Material gefüllten Glasröhrchen geprüft. Bei dieser Versuchsanordnung läßt sich die durchgetretene Farbstoffmenge in einem Auffanggefäß colorimetrisch bestimmen und es ermöglichen sich so vergleichende Aussagen gegenüber anderen Materialien. Mit dieser Methode arbeiteten S P R E T E R V O N K R E U - D E N S T E I N und W E B E R . C H R I S T E N und M I T C H E L bedienten sich eines fluoreszierenden Farbstoffes (Fluorescein-Lösung), in den sie die zu untersuchenden gefüllten Zähne tauchten, Die Spaltbeurteilung erfolgte unter einem Fluoreszenz-Mikroskop.

Alle diese Farbstoffdurchdringungsversuche erlauben jedoch keine exakten Aussagen über die Größe und Ausdehnung eines Spaltes, sondern liefern nur qualitative Ergebnisse.

zu 2:

Druck-Versuche basieren auf der von K N A P P W O S T angegebenen Blasendruckmethode: Das Füllungsmaterial erhärtet in einer gewissen Schichtdicke in einem Glasröhrchen, das über eine Schlauchverbindung an eine Luftpumpe angeschlossen wird. Mit ihr kann ein meßbarer Luftüberdruck über dem Füllungsmaterial erzeugt werden. Dieses System wird in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gebracht. In dem Moment, wo sich gerade eine Luftblase aus dem Kapillarspalt zwischen der Füllung und Röhrchenwand löst, herrscht Gleichgewicht zwischen der treibenden Kraft des Druckes über der Füllung und der Haftintensität der Luftblase. Die Spaltbreite kann dann als Funktion des angewandten hydrostatischen Druckes errechnet werden. Nach dieser Methode, die also konkrete Ergebnisse über die vorhandenen Spaltraumvolumina liefert, arbeiteten R E I N L , H O R N U N G und H A R R bei ihren Versuchen.

zu 3:

Die Randdichte von Füllungsmaterialien gegenüber dem Bestreben von Bakterien in den Randspalt einzudringen, untersuchten K L E V E K O R N , M O R T E N S E N , R Y G E und B O U C H E R jr. K L E V E K O R N überschichtete mit Füllungsmaterial verschlossene Glasröhrchen mit einer Bakterienkultur und beobachtete das Auftreten dieser Bakterien nach Passage über den Spalt in einer anfangs sterilen Bouillon, in die das Röhrchen getaucht wurde. M O R T E N S E N und seine Mitarbeiter führten ihren Versuch an extrahierten Zähnen durch, in die Füllungen nach Black I und V gelegt wurden. Über den Wurzelkanal und das Pulpenkavum wurde dann die Dentindecke bis zum Boden der Füllung entfernt. Dann wurden die Füllungen mit Bakteriensuspensionen überschichtet und die Wurzeln der Zähne in sterile Bouillon getaucht. Die über den Randspalt eingedrungenen Bakterien trübten die Bouillon.

Mit dieser Versuchsanordnung lassen sich Randspalten nachweisen, die mindestens die Größe eines Bakteriums aufweisen müssen.

zu 4:

Verschiedene Untersucher (C R A W F O R D und L A R S O N , F U C H S und M A Y E R , V E L K O V A , W U R T H M A N N , S I E C K) benutzten radioaktiv markierte Substanzen zum Nachweis von Randspalten bei verschiedenen Füllungsmaterialien. Sie legten Füllungen in extrahierten Zähnen und tauchten sie in isotonenhaltige Lösungen. Der Spaltnachweis erfolgte, indem entweder die sich im Spalt angesammelte Radioaktivität mit dem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen wurde oder durch die Anfertigung von Autoradiographien, wobei man den Schwärzungseffekt der radioaktiven Strahlen auf einem Film benutzte. Durch die Autoradiographien lassen sich Form und Ausdehnung des Randspaltes annähernd darstellen. Als Isotopen wurden in den verschiedenen Arbeiten ^{45}Ca , ^{32}P ($\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$), ^{131}J (Na^{131}J) verwendet.

Einen interessanten Versuch führten M C C U R D Y , S W A R T Z , P H I I L I P S und R H O D E S durch: Sie verfütterten radioaktiv markiertes Futter und Wasser an Affen, deren Zähne vorher mit Füllungen versorgt wurden. Nach einer gewissen Zeit wurden die Zähne extrahiert und die Randspalten der Füllungen mit Autoradiographien festgehalten.

zu 5:

Möglichkeiten einer direkten Betrachtung des Füllungsrandes und des Randspaltes bieten die verschiedenen mikroskopischen Untersuchungsmethoden. Durch Einschalten eines Meßokulars in den Strahlengang lassen sich vor allem exakte Messungen der Randspaltbreite durchführen.

B O C K und S C H M E R W I T Z untersuchten Füllungen mit dem Auflichtmikroskop. H E U S E R , N I E J A H R und L Ä M M E R fertigten von ihren Füllungen Abdrücke nach der Adhäsionsreliefmethode mit in Aceton gelöstem Zelluloid an, die sie unter dem Mikroskop im durchfallenden Licht beobachteten. A L B E R T nahm Silikon-Doppelabdrücke von den zu untersuchenden Füllungen und unterteilte sie in Längsschnitte. Die einzelnen Schnitte brachte er unter das Mikroskop und maß die aufgefundenen Spalten aus.

Die eleganteste Möglichkeit der Randspaltbeurteilung und -messung, nicht nur unter den optischen Methoden, ist die Untersuchung unter dem Rasterelektronenmikroskop, da dieses Gerät neben der hohen Vergrößerung auch eine hervorragende Tiefenschärfe besitzt. Es eröffnet somit die Möglichkeit einer dreidimensionalen Darstellung, die auch die Beurteilung der Tiefe eines Spaltes ermöglicht. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen liegen vor von T R I A D A N , I E E und S W A R T Z , R I E D E L , V I O H T und W I N K E L M A N N . Das Problem dieser Methode bei der Anwendung für Kunststoff-Füllungen liegt in der notwendigen Vorbereitung der Präparate, da die Objekte im Hochvakuum mit Kohle und Gold bedampft werden müssen. Dabei stellt sich die Frage, ob durch Austrocknungseffekte im Hochvakuum nicht Artefakte im Sinn einer Randspaltverbreiterung auftreten.

Neben diesen kurz geschilderten Hauptuntersuchungsmethoden bedienen sich einzelne Autoren noch spezieller Verfahren: N E U S C H E I E R untersuchte Füllungsrandränder mit einem Profilographen und fertigte Profilogramme an, mittels derer die Beschaffenheit der Füllungsoberfläche und des Füllungsrandes dargestellt wurden. B. A. H O R W I T Z , K L E I N und M C D O N A L D entwickelten einen Versuchsaufbau, bei dem sie über eine mit einem Mikroskop gekoppelte Fernsehkamera enoral Füllungsrandränder untersuchten und auf einen Monitor übertrugen.

Ein wesentlicher Nachteil der Mehrzahl dieser beschriebenen Methoden im Vergleich zur klinischen Nachkontrolle besteht allerdings darin, daß die Untersuchungen in Laborstudien außerhalb des Mundes durchgeführt werden müssen. Dabei können die in der Mundhöhle vorkommenden spezifischen Bedingungen immer nur unvollständig nachgeahmt werden.

II. Untersuchungsberichte über das Randspaltverhalten bei Composite-Füllungsmaterialien

Über die Randständigkeit und das Randspaltverhalten der Composites liegen bisher noch relativ wenig Arbeiten vor allem mit quantitativen Ergebnissen vor, ein Umstand, der wohl auf die "Jugend" dieser Materialgruppe zurückzuführen ist.

C.-H. F I S C H E R , K N O L I E und T A N haben 12 Monate lang getragene Palakav-Füllungen mit Spiegel und Sonde nachuntersucht. Dabei kamen 251 Frontzahn- und 252 Seitenzahnfüllungen zur Prüfung. Sie berichteten, daß bei 221 Frontbeziehungsweise 236 Seitenzahnfüllungen die Sonde ohne zu haken von der Füllungsoberfläche auf die Zahnhartsubstanz gleitet, wobei auch kein Spalt erkennbar ist. Bei 13 Füllungen in der Front und 6 Füllungen im Seitenzahnbereich hakt die Sonde. Außerdem ist mit dem bloßen Auge bereits ein Spalt, jedoch noch kein Dentin erkennbar. Bei einer Frontzahnfüllung liegt ein größerer Spalt mit freiliegendem Dentin vor. Bei 19 Front- und 10 Seitenzahnfüllungen ist die Füllung locker, gebrochen,

teilweise oder ganz verloren gegangen. Von ähnlichen Ergebnissen berichtet T A N über die Untersuchungen zu seiner Dissertation: Von 235 mit Spiegel und Sonde nachuntersuchten Frontzahnfüllungen sind 206 einwandfrei, 14 weisen einen Randspalt auf, bei 19 ist ein Überschuß vorhanden und 2 Füllungen zeigen Luftblasen. Von 242 Seitenzahnfüllungen sind 211 ohne Mängel, 6 mit Randspalt, 19 mit Überschuß und 6 mit Luftblasen. Das Resultat dieser Untersuchungen zeigt, daß etwa 90 % der gelegten Palakav-Füllungen nach einem Jahr noch klinisch einwandfreie Füllungsrandverhältnisse aufweisen.

S T Ü B E N und K Ö C K haben im Laborversuch mittels einer modifizierten Farbstoffdurchdringungsmethode ebenfalls Palakav untersucht. Sie verwendeten an Stelle von Glasröhrchen Dentinröhrchen, da Palakav am Dentin chemisch haften soll. Sie berichten, daß bei Palakav keine Farbstofflösung zwischen Füllung und Dentin durchtritt. "Das Palakav liegt der Dentinwand randständig an", während bei Silikatzementen und konventionellen Kunststoffen in ihrem Versuch ein Randspalt nachweisbar ist. Selbst nach Wechseltauchversuchen zwischen 15°C und 65°C zeigt normal angemischtes Palakav noch eine einwandfreie Randständigkeit.

R I E D E L , V I O H L und W I N K E L M A N N untersuchten die Oberfläche und den Randspalt bei Palakav-Füllungen im Rasterelektronenmikroskop. Sie schreiben: "Ein spaltenfreier Übergang von Füllungsmaterial zu Schmelz konnte im Kavitätenbereich nicht eindeutig beobachtet werden". Die von ihnen gefundenen Extremwerte der Spaltbreiten liegen zwischen 6 und 72 μ , die durchschnittlichen Breiten liegen bei 12 bis 30 μ . Sie berichten in diesem Zusammenhang, daß die Spalten jedoch geringer sind, als bei Amalgam-, Guß- oder Silikatzementfüllungen.

Bei ihren Fütterungsversuchen an Affen mit radioaktiv markiertem Futter und Trinkwasser prüften M C C U R D Y , S W A R T Z , P H I L L I P S und R U O D E S auch die Wandständigkeit bei einem Composite-Material (Adaptic).

Sie schreiben, daß in ihren Autoradiographie-Studien Spalten nachgewiesen werden können, jedoch sind sie auf kleine Abschnitte im cervikalen Bereich der von ihnen untersuchten Klasse V - Füllungen beschränkt. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß alle Füllungen nach drei- und sechsmonatiger Nachkontrolle einen "excellenten Randschluß" aufweisen. Im Falle eines Spaltes sind bei keiner Füllung die Isotopen über die Schmelz-Dentin-Grenze hinaus eingedrungen.

L E E und S W A R T Z untersuchten die ersten auf dem amerikanischen Markt erhältlichen Composites: Addent 12, Addent 35, Dakor und Adaptic. (Dakor ist wieder aus dem Handel gezogen worden, Addent 12 und 35 sind die Vorläufer von Addent XV und Concise.) Während der Versuchsreihe wurden Füllungen nach Legen der Füllung, nach Wechseltauchversuchen zwischen 4°C und 50°C (100 und 200 Wechsel) und nach 60 Tagen in 37°C warmem Wasser untersucht. Die Spaltemessungen erfolgten unter dem Rasterelektronenmikroskop. Nach Legen der Füllung sind die Spalten bei Adaptic 0,5 µ, bei Addent 12 0,5 µ, bei Addent 35 2 µ, und bei Dakor 5 µ breit. Nach den Wechseltauchversuchen weist Adaptic immer noch Spalten auf, die kleiner als 0,5 µ sind. Bei Addent 12 sind sie 2 µ, bei Addent 35 10 µ und bei Dakor 15 µ. Die Spaltbreiten nach 60 tägiger Lagerung im Wasser von 37°C sind bei Adaptic 0,5 µ, bei Addent 12 0,5 µ und bei Dakor 15 µ. Von Addent 35 liegen keine Ergebnisse vor. Bei den angegebenen Werten handelt es sich jeweils um Durchschnittswerte aus drei bis fünf Proben.

Ebenfalls mit dem Rasterelektronenmikroskop untersuchte T R I A D A N Composite-Füllungsmaterialien, und zwar Adaptic, EpoxyLite 72 und Prestige. Er berichtet von einer durchschnittlichen Spaltenbreite bei Adaptic von 4 µ. Analoge Durchschnittswerte von 3,5 µ findet er bei den beiden anderen Präparaten. Die gefundenen Extremwerte schwanken allerdings zwischen 1,1 und 10 µ.

A S M U S S E N und J Ø R G E N S E N verglichen in einer größeren Studie zahlreiche Composites (Adaptic,

Addent XV, Blendant, Concise, DFR, Palakay und TD 71) mit konventionellen selbstpolymerisierenden Füllungskunststoffen. Sie untersuchten die Spaltgrößen nach Legen der Füllung und nach bestimmten Zeitabständen; während diesen wurden die gefüllten Zähne in destilliertem Wasser bei 37°C gelagert. Hauptziel ihrer Untersuchung war es, den Einfluß der Quellung der Füllungskunststoffe auf den Randspalt durch die Lagerung im Wasser zu erforschen. Die Spaltemessungen unter dem Mikroskop erfolgten einmal am Übergang Schmelzrand - Füllung und nach Abschleifen in der Tiefe zwischen Dentin und Füllung. Als Ergebnis wird berichtet, daß bei allen Füllungskunststoffen, also sowohl Composites als auch herkömmlichen Autopolymerisaten, nach Legen der Füllung Spalten zwischen 20 - 40 μ am Kavitätenrand vorhanden sind. Sie werden jedoch mit zunehmender Lagerung kleiner und sind schließlich vollständig verschwunden. Die Quellung ist dabei bei den Kunststoffen auf Methacrylatbasis in höherem Ausmaß wirksam als bei Composites, da Methacrylatkunststoffe bekanntlich auch mehr Wasser aufzunehmen vermögen. Bei Methacrylaten zeigt sich ein einwandfreier Randschluß schon nach einem Zeitraum zwischen 12 Stunden und 4 Tagen, während die Composite-Füllungen frühestens nach 8 Tagen randdicht sind. Ähnlich sind die Ergebnisse im Dentinbereich.

Nach dieser kurzen Literaturübersicht über Ergebnisse bei der Randspaltbeurteilung von Composite-Füllungsmaterialien läßt sich feststellen, daß die einzelnen Meßergebnisse der Untersucher zum Teil noch erheblich voneinander abweichen. So schwanken beispielsweise die Angaben bei Adaptic von < 0,5 μ über 4 μ bis zu 20 μ . Mit dem folgenden Bericht über eigene Untersuchungen und Ergebnisse soll versucht werden, einen Beitrag zur Aufklärung des Randspaltproblems bei verschiedenen Composite-Füllungsmaterialien zu leisten.

D. Material und Methode

I. Vorbemerkungen

In den folgenden Abschnitten soll über die Methode und die Ergebnisse eigener Untersuchungen berichtet werden. Der wichtigste Punkt der Arbeit ist die Beurteilung des Randspaltverhaltens einiger Composite-Füllungsmaterialien unter verschiedenen Bedingungen. Der Versuch soll vor allem quantitative, exakte Meßergebnisse hinsichtlich der Länge und vor allem der Breite der auftretenden Randspalten zwischen Füllung und Kavität liefern. Es ist völlig klar, daß in einem Laborversuch die spezifischen Verhältnisse der Mundhöhle nur annähernd nachgeahmt und erreicht werden können. Der gesamte Versuchsaufbau ist jedoch so angelegt, daß die gefundenen Ergebnisse auch bei einer Anwendung unter klinischen Bedingungen in der Praxis weitgehend gelten dürften, so daß die Laborergebnisse auch eine Wertung der untersuchten Materialien unter klinischen Gesichtspunkten ermöglicht.

II. Materialien

Aus der Vielzahl der von der Dentalindustrie angebotenen Composite-Materialien wurden für die Untersuchung folgende fünf - in alphabetischer Reihenfolge aufgeführte - Präparate ausgewählt:

Adaptic	(Johnson & Johnson)
Concise	(3 M Company)
Concise Enemal Bond	(3 M Company)
Estic	(Firma Kulzer)
Palakav	(Firma Kulzer)

Die Gründe, die für diese Auswahl ausschlaggebend waren, sind:

1. Palakav und Estic sind die einzigen deutschen Composite-Materialien auf dem Dentalmarkt.

2. Adaptic und Concise sind nach Angaben eines führenden Münchener Dentaldepots die im Großraum München am häufigsten in der Praxis verwendeten Composites.
3. Mit Concise Enemal Bond ergibt sich die Möglichkeit, im direkten Vergleich mit Concise die Auswirkung der Säure-Ätz-Technik auf die Randspaltqualität zu untersuchen.

Adaptic:

Adaptic ist ein Composite-Material, das als Zwei-Pasten-System, bestehend aus Basis-Paste und Katalysator-Paste angeboten wird. Seine Kunststoff-Matrix ist nach der Bowen-Formel aufgebaut. Als Füllstoffe enthält Adaptic unregelmäßig geformte Quarzteilchen, deren Anteil 77,7 Gew.% ausmacht (D E N N I S O N und C R A I G).

Concise und Concise Enemal Bond:

Bei Concise handelt es sich ebenfalls um ein an der Bowen-Formel orientiertes Composite in Form von Basis- und Katalysator-Paste. Dabei werden bei diesem Material vom Hersteller Borosilikat-Glas-Plättchen mit einem Gewichtsanteil von 71,9 % (D E N N I S O N und C R A I G) zugegeben.

Eine Ergänzung bzw. Erweiterung erfährt Concise durch die Säure-Ätz-Technik mit dem Concise Enemal Bond System. Es besteht aus 37 % ungepuffelter Phosphorsäure zur Demineralisierung und Anrauhung des Schmelzes und den beiden reinen Harzkomponenten, der Bowen-Grundsubstanz und dem Katalysator in flüssiger Form ohne Füllstoffzusatz. Sie werden vor dem eigentlichen Füllungsmaterial auf den angeätzten Schmelz aufgetragen.

Estic:

Wie die beiden vorgenannten Präparate ist Estic ebenso ein Bowen-Harz aus Grund-Paste und Katalysator-Paste. Während bei Adaptic und Concise jedoch die beiden Pasten zu

gleichen Teilen vermischt werden müssen, darf bei Estic zu einer bestimmten vorgegebenen Menge Basis-Paste nur ein genau dosierter Anteil Katalysator zugegeben werden. Der Füllstoff bei diesem Präparat ist eine "spezialkeramische Masse mit sehr hohem Feinheitsgrad" bei einem Anteil von 77 Gew.% (Herstellerangaben).

Um die Bindung des Füllungsmaterials am Schmelz zu erhöhen, empfiehlt die Herstellerfirma eine Vorbehandlung der Schmelzbereiche der Kavität mit Esticid, einem "Schmelzreiniger auf Phosphorsäure-Basis" (Herstellerbezeichnung).

Palakav:

Im Vergleich zu den bisher aufgeführten Füllungsmaterialien ist Palakav völlig anders aufgebaut. Es handelt sich um ein Composite-System aus Pulver, Flüssigkeit und Katalysator-Paste. Das flüssige Monomer besteht im wesentlichen aus Methylmethacrylat, das Pulver enthält zu 80 Gew.% silanisierter Glasperlen als Füller und nur zu 20 Gew.% Polymethacrylat (S T Ü B E N und K Ö C K). Das Wesentliche am Füllungskunststoff Palakav im Vergleich zu den anderen Composites ist das von M A S U H A R A und C.-H. F I S C H E R in Zusammenarbeit mit der Firma Kulzer entwickelte Katalysatorsystem. M A S U H A R A und seine Mitarbeiter fanden 1963 heraus, daß Tri-n-butylboran als Katalysator eine Pfropfpolymerisation zwischen dem Monomer des Kunststoffes und den Polypeptidketten am Dentin bewirkt und somit zu einer echten chemischen Bindung des Füllungsmaterials am Dentin führt. Um die noch unbefriedigende Haftung am Schmelz zu verbessern, berichtet M A S U H A R A später, daß nach Untersuchungen seiner Mitarbeiter T A R U M I und N A K A G A V A die auch von B U O N O C C O R E beschriebene Vorbehandlung des Schmelzes mit Phosphorsäurelösung die Adhäsion von Palakav an der Schmelzoberfläche der Kavität sehr stark erhöht.

III. Versuchsbeschreibung

1. Vorbereitung der Zähne

Um dem in den Vorbemerkungen gesteckten Ziel, eine praxisbezogene Aussage zu machen, möglichst nahe zu kommen, sollten die Randspalten bei Füllungen untersucht werden, die in extrahierten Zähnen gelegt worden sind. Das Zahnmaterial setzte sich aus kariesfreien Frontzähnen und Prämolaren zusammen, die aus parodontologischen Gründen extrahiert werden mußten. Nach der Extraktion wurden die Zähne sofort in physiologische Kochsalzlösung gelegt. Anschließend erfolgte eine Reinigung der Zahnkronen mit einem 10 % H_2O_2 -Bimsstein-Brei und einer Polierbürste, um anhaftende Beläge und Plaques zu entfernen. Die gesäuberten Zähne sind dann mit klarem Wasser abgespült und bis zur Weiterverwendung in physiologischer Kochsalzlösung im Wärmeschrank bei 37°C aufbewahrt worden. Zur Lagerung in Kochsalzlösung an Stelle von Speichel berichtet H A N K, daß ein Versuch ergeben habe, daß zwischen der Lagerung in Wasser und in Speichel hinsichtlich der Einflüsse auf den Zahn kein prinzipieller Unterschied bestehe.

2. Kavitätenpräparation und Vorbereitung für die Füllung

Für die Aufnahme der späteren Füllungen wurden in die Labialflächen der Zähne ovale Kavitäten mit von cervical nach coronal gerichteter Hauptausdehnung präpariert. Die Ausmaße der Kavitäten betrugen ungefähr 3 mm von cervical nach coronal und 1,5 - 2 mm in mesio-distaler Richtung. Der Präparationsablauf orientierte sich an den allgemeinen Grundsätzen der Kavitätenpräparation: Mit der Turbine unter Wasser-Spray-Kühlung wurde mit einem kugelförmigen Diamantschleifkörper die Kavitätenform grob aufgezo- gen. Die entgültige Gestaltung der Kastenform der Kavitäten bis zu einer

Tiefe von ca. 3 mm erfolgte mittels eines Fissurenbohrers Nr. 3 im Winkelstück. Ein Unterschnittkegelbohrer Nr. 3 schuf die notwendige Verankerung für die spätere Füllung. Das anschließende Glätten der Kavitätenränder ist mit einem Guttman-Finnierer Nr. 3 durchgeführt worden.

Bevor nun alle Kavitäten - mit Ausnahme der für die Palakav-Füllungen vorgesehenen Zähne - eine ca. 1 mm dicke Unterfüllung aus Zinkoxid-Phosphat-Zement erhielten, mußten sie zunächst mit 3 % H_2O_2 gereinigt, dann getrocknet und anschließend mit Chloroform entfettet und erneut trockengeblasen werden.

3. Legen und Nachbearbeiten der Füllung

Die Verarbeitung der Füllungsmaterialien: Anmischen und Anmischzeit, Applikation, Abbindezeit und Nachbearbeitung des Füllungsrandes erfolgte genau gemäß den Anweisungen und Empfehlungen der Hersteller. Während des Abbindevorganges wurde unter mäßigem Fingerdruck ein Polyäthylenstrip auf die Füllung gelegt. Der grobe Füllungsüberschuß konnte nach dem Aushärten mit einem spitzen Spatel abgesprengt werden. Mit einem flammenförmigen Finnierer im Winkelstück ist dann die entgeltliche Nachbearbeitung des Füllungsrandes bei den Palakav-Füllungen vorgenommen worden, bei den Füllungen mit Adaptic, Concise, Concise Enamel Bond und Estic mit einem Hartmetallfinnierer in der Turbine unter Wasser-Spray-Kühlung. Bei Adaptic sind noch in einer zusätzlichen Versuchsreihe die Füllungsrande mit einem feinkörnigen, vaselinegefetteten und wassergekühlten Diamanten im Winkelstück beschliffen worden, um zu untersuchen, ob diese unterschiedlichen Nachbearbeitungen Einfluß auf die Qualität des Füllungsrandes besitzen. Beide Möglichkeiten der Füllungsrandkorrektur werden nämlich vom Hersteller empfohlen. An den fertigen Füllungen durfte mit einer feinen Häkchensonde kein Füllungsüberschuß mehr sondierbar sein. Bis zur Untersuchung wurden die Zähne bzw. Füllungen dann weiter in physiologischer Kochsalzlösung bei 37°C gelagert.

4. Ziel der Untersuchung

Durch die Untersuchung sollten im Wesentlichen drei Fragen bezüglich der Randspaltbildung und des Randspaltverhaltens der zu prüfenden Materialien geklärt werden:

1. Wie groß ist der Randspalt unmittelbar nach Legen der Füllung?
2. Wie verändert sich der Randspalt, wenn sich die Füllung längere Zeit bei 37°C in wässrigem Milieu befindet, also Verhältnisse, die in der Mundhöhle vorliegen?
3. Welchen Einfluß haben starke Temperaturschwankungen auf den Randspalt bei diesen Füllungen?

zu 1:

Der Randspalt nach Legen der Füllung ist ausschließlich abhängig von der Volumenkontraktion beim Polymerisationsprozeß. Die diesbezüglich günstigen, in Laborversuchen ermittelten Werte für Composite-Füllungsmaterialien lassen auch hier gute Ergebnisse erwarten.

zu 2:

Durch die Lagerung im Wasser nehmen die herkömmlichen Kunststoffe Wasser auf und quellen. Auf diese Weise wird ein Teil der Volumenkontraktion wieder ausgeglichen und es tritt somit auch eine Spaltverkleinerung auf. Dieses Verhalten wurde ebenfalls bei den Composite-Materialien beobachtet: C.-H. F I S C H E R , S T R A S S B U R G , K N O L L E und K U N Z E berichten über Palakav von einer Wasseraufnahme von ungefähr 1,3 Gew.% nach vollständiger Austrocknung. Durch die auf diese Weise hervorgerufene Quellung des Materials soll eine Überkompensation der Polymerisationsschrumpfung von 0,1 % eintreten. Über Adaptic berichten L E E , S W A R T Z und S M I T H von 0,8 % Gewichtszunahme durch Wasserabsorption, die nach sechs Tagen erreicht ist. Die Werte für Estic und Concise

dürften sich in ähnlichen Größenordnungen bewegen. Die Auswirkung der Wasseraufnahme auf den Randspalt wurde auch von A S M U S S E N und J Ø R G E N S E N untersucht. In ihrer Arbeit schreiben sie, daß bei allen nachgeprüften Füllungen die anfänglich vorhandenen Spalten durch die wasserabsorptionsbedingte Quellung sich verkleinern bis zum vollständigen Spaltschluß, bei Adaptic und einigen anderen Präparaten bereits nach 8 Tagen. Nach 32 Tagen sei in keinem Fall mehr ein Spalt nachzuweisen.

Um den Einfluß der Quellung auf das Randspaltverhalten der Composite-Füllungsmaterialien zu untersuchen, erfolgten die Nachkontrollen nach einer Woche und nach vier Wochen. Die Zähne befanden sich während dieser Zeit im Wärmeschrank bei 37°C in physiologischer Kochsalzlösung, die während dieser Zeit wöchentlich gewechselt wurde.

zu 3:

Im letzten Teil des Versuches ist dann das Verhalten der Füllungen bei extremen thermischen Belastungen untersucht worden, da trotz der Verbesserungen die Composite-Materialien immer noch einen 2 - 4 fach höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten besitzen als die Zahnhartsubstanzen. Zu diesem Zweck wurden die Füllungen im Wechsel 15 mal für je eine Minute in Eiswasser von 0°C und Wasser von 80°C eingetaucht und anschließend 5 mal für jeweils zwei Minuten unter gleichen Temperaturbedingungen. Dieser Versuch fand nach der fünften Woche statt, wobei sich die gefüllten Zähne bis zu dieser Untersuchung unter den gleichen schon beschriebenen Bedingungen im Wärmeschrank befanden. Nach dem Wechseltauchversuch erfolgte sofort die mikroskopische Untersuchung. Dieses Temperaturintervall mag sehr hoch gegriffen erscheinen, G R Ä F berichtet jedoch, daß in der Mundhöhle beim Essen Temperaturmaxima von +75°C beim Verzehr von heißer Suppe und -7°C beim Genuß von Speiseeis auftreten können, was einer Temperaturdifferenz von 82°C entspricht.

5. Untersuchung des Füllungsrandes

Die Untersuchungen und Messungen der Randspalten erfolgten mit dem Photomikroskop II der Firma Zeiss bei Auflichtbeleuchtung im Hellfeld. Dabei fanden die Objektive Epiplan HD 8 und 16 Verwendung, die Vergrößerungen von 1:32, 1:40, 1:50, 1:63, 1:80, 1:100 ermöglichten. Höhere Vergrößerungen erwiesen sich wegen der geringen Tiefenschärfe des Mikroskopes nicht als sinnvoll, da bereits bei minimaler Niveaudifferenz zwischen Füllungs- und Kavitätenrand der Spaltbereich nicht mehr scharf darzustellen war. Die eingebaute automatisch arbeitende Kamera ermöglichte es, die Füllungsänder und Spalten sofort zu photographieren. Dazu ist der Schwarz-Weiß-Film "Ilford Pan F", DIN 18, ASA 50 verwendet worden. E R G Ü N hat bezüglich des Filmmaterials berichtet, daß in einem Schwarz-Weiß-Film die Füllungsfläche eines Zahnes wesentlich kontrastreicher dargestellt werden könne, als in einem Farbbild. Über eine in das Okular eingebrachte Meßskala erfolgte die Messung der Spaltbreiten und -längen der jeweiligen Füllung. Die Meßskala mußte dabei für jede Vergrößerung geeicht werden. Bei der Vergrößerung 1:100, bei der die Untersuchungen in der Hauptsache vorgenommen wurden, entsprach 1 Teilstrich im Meßokular einer tatsächlichen Breite von $3,3 \mu$. Die Meßgenauigkeit bei dieser Untersuchungsmethode kann ungefähr mit $\pm 0,5 \mu$ angegeben werden.

Wegen des geringen Kontrastes zwischen Schmelzoberfläche und Füllungsfläche im mikroskopischen Bild war es notwendig, die Füllungsfläche und den Randspalt anzufärben. Zur besseren Beurteilung der Randspaltverhältnisse wurden daher die Proben vor jeder Untersuchung für eine Minute in einer 1:20 verdünnten Karbolfuchsinlösung, die unverdünnt für histochemische Färbungen verwendet wird, angefärbt.

Im Hauptversuch mit Adaptic, nachbearbeitet mit Hartmetallfinnierer, Adaptic, nachbearbeitet mit Diamanten, Concise, Concise Enamel Bond, Estic und Palakav gelangten jeweils sechs Zähne bzw. Füllungen zur Untersuchung. Die Kennzeichnung der

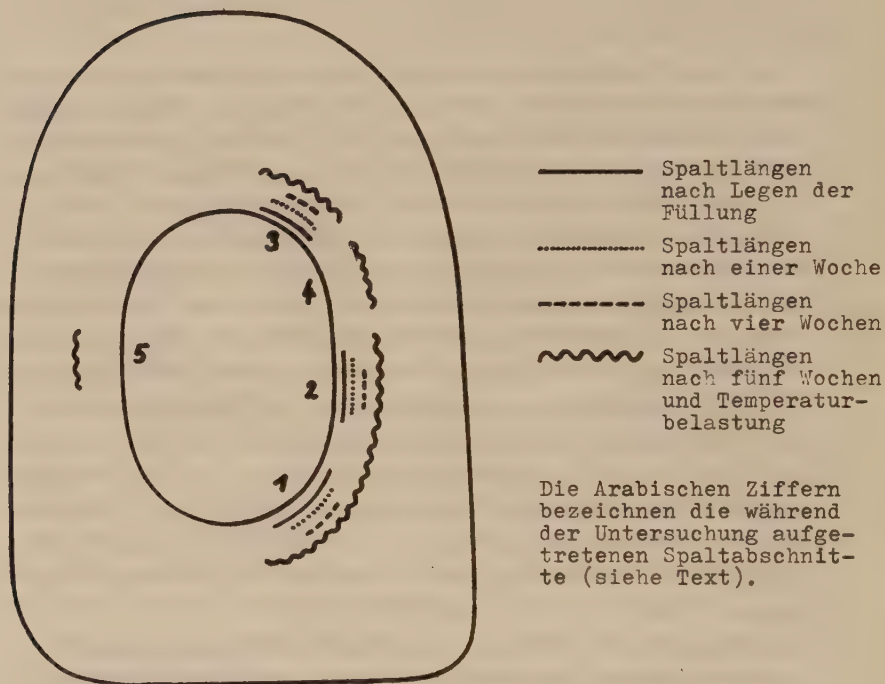
einzelnen Füllungen im Versuchsprotokoll erfolgte mit Römischen Ziffern I - VI. Die aufgefundenen Spalten sind sowohl in ihrer Länge als auch in ihrer Breite ausgemessen worden. Außerdem wurde darauf geachtet, inwieweit es möglich war, bei sorgfältigster Nachbearbeitung des Füllungsrandes alle Überlappungsstellen des Füllmaterials über den Kavitätenrand zu entfernen.

Die Untersuchung jeder Füllung begann jeweils an ihrer coronal höchsten Stelle. Von dort aus wurde der gesamte Füllungsrand entgegen dem Uhrzeigersinn auf vorhandene Spalten hin untersucht und die gefundenen Meßwerte in einer Tabelle festgehalten. Die Markierung und Kennzeichnung der Spalten bei der Erstuntersuchung nach Legen der Füllung erfolgte durch fortlaufende Nummerierung mit Arabischen Ziffern nach ihrem Auftreten in der Untersuchungsrichtung. In späteren Nachuntersuchungen neu entstandene Spaltabschnitte sind fortlaufend weiter beziffert worden.

Im Rahmen des Versuchsprotokolls ist für jeden Zahn bzw. jede Füllung gleichzeitig eine Skizze angefertigt worden, in die die Lage der aufgefundenen Spalten übertragen wurde. Diese Umzeichnung erleichterte einmal das Aufsuchen der bereits vorhandenen Spalten bei späteren Nachuntersuchungen, zum zweiten konnte an Hand der Skizze bereits ein gewisser Überblick über das Spaltverhalten jeder einzelnen Füllung gewonnen werden. Zur besseren Übersicht erfolgte die Einzeichnung der Spalten bei den jeweiligen Nachuntersuchungen während des Versuches in einer für jeden Zeitabstand eigenen Farbe.

Diese Protokollierung soll am folgenden Beispiel gezeigt werden: Es handelt sich um die Füllung II aus der Versuchsreihe mit Concise Enamel Bond. Aus drucktechnischen Gründen werden hier anstelle der verschiedenen Farben unterschiedliche Strichmarkierungen verwendet. Die Spaltlängen in diesen Protokollskizzen sind nicht maßstabsgetreu eingezeichnet. Diese Skizzen sollen lediglich zur Orientierung und Übersicht dienen.

Abb. 3: Protokoll-Skizze zu den Veränderungen der Spaltlängen während einer Untersuchungsreihe am Beispiel der Füllung II mit Concise Enamel Bond



Aus der Zeichnung wird ersichtlich, daß die Spaltlängen der Spaltabschnitte 1, 2 und 3 nach einer und nach vier Wochen jeweils kleiner geworden sind. Die Temperaturbelastung nach der fünften Woche bewirkte eine Längenzunahme der vorhandenen Spalten, wobei die Spalten 1 und 2 zu einem Spaltabschnitt verschmolzen sind. Die Spalten 4 und 5 sind nach diesem Versuch neu entstanden.

6. Zusatzversuch

In einem zusätzlichen Versuch kleineren Umfanges wurde beim Füllungsmaterial Palakav die von M A S U H A R A vorgeschlagene Anätzung des Schmelzes zur Verbesserung des Rand-schlusses untersucht. Aus Mangel an geeignetem Zahnmaterial mußte dieser erst später in das Untersuchungsprogramm aufgenommene Zusatzversuch auf drei Füllungen beschränkt werden. Das Anätzen erfolgte mit der 37 % Phosphorsäure des Concise Enamel Bond Systems. Nach der Säureeinwirkung von 1 1/2 Minuten sind die Zähne mit klarem Wasser abgespült, dann die Kavitäten mit dem Luftbläser getrocknet und schließlich das Füllungsmaterial eingebracht worden. Die Randkontrollen erfolgten unmittelbar nach Legen der Füllung und nach drei Wochen. Nach der vierten Woche fand der Tauchversuch im Wechselbad statt. Infolge der vom Hauptversuch abweichenden Kontrollzeiten läßt sich zwar kein direkter Vergleich zu den Füllungen ohne Säure-Ätzung anstellen, dieser Zusatzversuch ermöglicht aber dennoch eine grobe Abschätzung der Auswirkung der Säure-Ätz-Technik auf das Randspaltverhalten von Palakav-Füllungen.

E. E r g e b n i s s e

I. Adaptic, nachbearbeitet mit Hartmetallfinnierer

Die Untersuchung der finnierten Adaptic-Füllungen nach dem Legen ergibt in allen Fällen nur wenige Spaltabschnitte. Die Spaltbreiten bewegen sich im Bereich zwischen 1,6 und 6,6 μ , wobei eine Breite um 3,3 μ am häufigsten aufgefunden wird. Die Spaltlängen schwanken zwischen 23 μ und 132 μ .

Nach einer Woche läßt sich eine Verbesserung der Spaltergebnisse feststellen. Bei 50 % der Spalten, besonders den ursprünglich relativ breiten Abschnitten, tritt eine Verkleinerung ein, so daß mit einer Ausnahme, bei der noch 5 μ Breite gemessen werden, nur noch Spaltbreiten von 1,6 bis 3,3 μ vorhanden sind. Bei der anderen Hälfte zeigt sich keine Veränderung der Spaltbreiten. In allen Fällen kommt es jedoch zu einer Verkürzung der Spalten um 10 - 50 %.

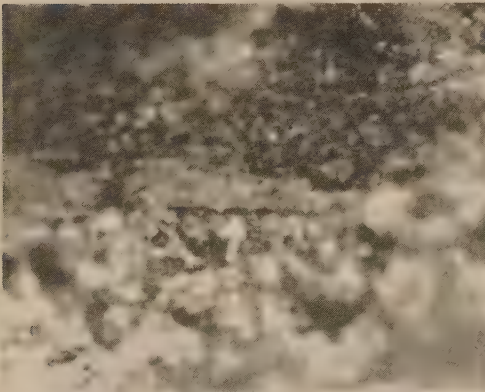
Die Kontrolle nach vier Wochen ergibt nur noch geringe Veränderungen im Vergleich zur Untersuchung nach einer Woche. Bei etwa einem Viertel der Spaltbereiche ist noch eine weitere Reduzierung der Breite um etwa 1,6 μ meßbar. Zwei Drittel der Spalten sind nur mehr 1,6 μ breit, das restliche Drittel 3,3 μ . Hinsichtlich der Länge weist ein Drittel der Spalten keine Veränderung auf, bei den übrigen zwei Dritteln sind die Spaltabschnitte nochmals um 5 - 10 % kürzer geworden.

Eine Verschlechterung der Randschlußqualität läßt sich nach der Temperaturbelastung feststellen. Bei zwei Abschnitten bleibt die Spaltbreite gleich, bei den übrigen Spalten führt der Versuch jedoch zu Verbreiterungen zwischen 1,7 μ und 3,4 μ . Die Spaltmaxima betragen nun 6,6 μ . Gleichzeitig ergibt sich in allen Fällen eine deutliche Längenzunahme der Spalten. Sie liegt bei etwa der Hälfte zwischen 30 - 60 %, die übrigen Spalten sind jedoch um das Zweibis Siebenfache länger geworden. Ferner treten auch bei allen Füllungen neue Spaltbereiche mit 1,6 - 3,3 μ Breite und 17 - 76 μ Länge auf.

Bei drei der sechs Füllungen, die mit dem Finnierer nachbearbeitet worden sind, sind am Füllungsrand kleine Überlappungsbereiche bestehen geblieben. Bei einer Füllung lassen sich dabei drei Abschnitte feststellen, bei den beiden anderen Füllungen jeweils eine Stelle.

Die Tabelle 2 enthält die Zusammenfassung der Ergebnisse der mit dem Hartmetallfinnierer nachbearbeiteten Adaptic-Füllungen.

Abb. 4: Adaptic-Füllung, finniert, nach Legen der Füllung



Füllung V;

Spalt 3;

Füllungsmaterial
unterhalb des Fül-
lungsrandes;

Die größte Breite
(Pfeil) dieses Spal-
tes beträgt $3,3 \mu$.
Die gesamte Spalt-
länge von 50μ ist
nicht scharf dar-
stellbar.

Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 2: Versuchsreihe A d a p t i c , nachbearbeitet mit
Hartmetallfinnierer

Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei
den Nachuntersuchungen

Füllung ¹⁾	Randspalt ²⁾	nach Legen ³⁾ der Füllung	nach 1 ³⁾ Woche	nach 4 ³⁾ Wochen	nach 5 Wochen ³⁾ u. Temperaturbelastung
I	1	82 μ /3,3 μ	63 μ /3,3 μ	60 μ /1,6 μ	82 μ /3,3 μ
	2	56 μ /3,3 μ	50 μ /1,6 μ	50 μ /1,6 μ	66 μ /3,3 μ
	3	116 μ /5 μ	100 μ /3,3 μ	94 μ /3,3 μ	132 μ /5 μ
	4				23 μ /1,6 μ
	5				76 μ /3,3 μ
	6				56 μ /3,3 μ
=====					
II	1	33 μ /3,3 μ	27 μ /3,3 μ	27 μ /3,3 μ	42 μ /5 μ
	2	83 μ /3,3 μ	66 μ /1,6 μ	60 μ /1,6 μ	86 μ /1,6 μ
	3				133 μ /3,3 μ
	4				26 μ /1,6 μ
	5				36 μ /1,6 μ
=====					
III	1	132 μ /3,3 μ	100 μ /3,3 μ	89 μ /1,6 μ	132 μ /3,3 μ
	2	42 μ /6,6 μ	26 μ /3,3 μ	23 μ /3,3 μ	165 μ /5 μ
	3	82 μ /6,6 μ	50 μ /5 μ	46 μ /3,3 μ	135 μ /6,6 μ
	4				33 μ /1,6 μ
	5				42 μ /1,6 μ
=====					
IV	1	42 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	33 μ /1,6 μ	63 μ /3,3 μ
	2	50 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	63 μ /3,3 μ
	3	53 μ /3,3 μ	40 μ /1,6 μ	36 μ /1,6 μ	116 μ /5 μ
	4				36 μ /1,6 μ
=====					

1) Die Römischen Ziffern I-VI kennzeichnen die sechs Füllungen jeder Untersuchungsreihe

2) Die Zahlen in dieser Spalte kennzeichnen die im Laufe der Untersuchung aufgetretenen Spaltabschnitte; siehe Abschnitt D, III, 5 der Versuchsbeschreibung

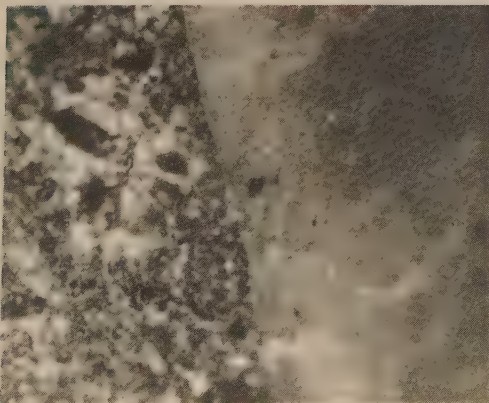
3) Die in diesen Spalten bzw. Zeilen zuerst angegebene Zahl bedeutet die Länge, die zweite Zahl die größte Breite des jeweiligen Randspaltes

Diese Anmerkungen gelten für alle folgenden Tabellen!

Fortsetzung Tabelle 2:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperatur- belastung
V	1	82 μ /3,3 μ	40 μ /3,3 μ	36 μ /1,6 μ	92 μ /3,3 μ
	2	35 μ /1,6 μ	26 μ /1,6 μ	23 μ /1,6 μ	140 μ /3,3 μ
	3	50 μ /3,3 μ	43 μ /1,6 μ	43 μ /1,6 μ	63 μ /5 μ
	4				40 μ /3,3 μ
	5				43 μ /1,6 μ
=====					
VI	1	23 μ /3,3 μ	17 μ /1,6 μ	17 μ /1,6 μ	33 μ /3,3 μ
	2	116 μ /5 μ	93 μ /3,3 μ	89 μ /3,3 μ	142 μ /6,6 μ
	3	89 μ /3,3 μ	63 μ /3,3 μ	63 μ /3,3 μ	102 μ /3,3 μ
	4	60 μ /1,6 μ	30 μ /1,6 μ	27 μ /1,6 μ	76 μ /3,3 μ
	5				17 μ /1,6 μ
	6				23 μ /1,6 μ

Abb. 5: Adaptic-Füllung, finniert, nach Legen der Füllung



Füllung VI;

Die Aufnahme zeigt einen langen spaltfreien Füllungsrandbereich.

Das Füllungsmaterial liegt links vom Füllungsrand

Vergrößerung: 1 : 63

Abb. 6: Adaptic-Füllung, finniert, nach 1 Woche



Füllung IV;
Spalt 2;
Das Füllungsmaterial
liegt links unterhalb
des Füllungsrandes.
Bei diesem Bild
handelt es sich um
einen $1,6\mu$ breiten
und 33μ langen
Spalt. (Grenzen durch
x markiert)
Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 7: Adaptic-Füllung, finniert, nach 4 Wochen



Füllung I;
Spalt 3;
Füllungsmaterial
oberhalb des
Füllungsrandes;
Die größte Breite
(Pfeil) dieses 94μ
langen Spaltes be-
trägt $3,3\mu$
Vergrößerung: 1 : 100

II. Adaptic, nachbearbeitet mit Diamantschleifkörper

Bei den mit einem Winkelstückdiamanten nachbearbeiteten Adaptic-Füllungen treten bei allen Füllungen Spalten zwischen $1,6$ und $6,6\text{ }\mu$ Breite auf. Die häufigsten Spaltbreiten liegen in der Größenordnung $3,3 - 6,6\text{ }\mu$. Die Spaltlängen schwanken zwischen 20 und maximal $175\text{ }\mu$.

Die Nachuntersuchung nach einer Woche ergibt, daß bei einem Drittel der Spaltabschnitte die Breiten gleich geblieben sind, das gilt besonders für die breiteren Spalten von $3,3\text{ }\mu$ und $6,6\text{ }\mu$. Bei den restlichen zwei Dritteln, also der Mehrzahl, ist eine Verminderung der Breite festzustellen. Die Länge vermindert sich bei allen Spaltabschnitten um $15 - 60\%$. Zwei kleine Spalten mit $1,6\text{ }\mu$ Breite und 40 bzw. $23\text{ }\mu$ Länge haben sich im Verlauf dieser Woche vollständig geschlossen.

Nach vier Wochen ist bei einem Viertel aller Spaltabschnitte eine nochmalige Verkleinerung der Breiten eingetreten, während sich bei der großen Mehrzahl keine Breitenänderungen mehr zeigen. Es ist jedoch nur noch ein Spalt mit $6,6\text{ }\mu$ Breite vorhanden, die übrigen Spaltabschnitte sind $1,6 - 3,3\text{ }\mu$ breit. Hinsichtlich der Länge zeigen sich ebenfalls nur noch geringe Veränderungen. Lediglich die Hälfte der Spalten ist noch einmal um ca. 10% kürzer geworden.

Wie bei dem vorherigen Versuch bewirkt der Wechseltauchversuch auch hier eine deutliche Verschlechterung des Randschlusses. Mit Ausnahme von drei Fällen kommt es bei den übrigen bereits vorhandenen 19 Spaltabschnitten zu deutlichen Verbreiterungen von durchschnittlich $1,7\text{ }\mu$, maximal sogar bis um $5\text{ }\mu$ und $6,7\text{ }\mu$. Der breiteste Spaltabschnitt nach diesem Versuch mißt $10\text{ }\mu$, häufig werden auch Spalten von $6,6\text{ }\mu$ Breite gefunden. Bei allen Füllungen hat die Temperaturbelastung auch die Entstehung neuer Spalten hervorgerufen. Sie sind im allgemeinen $1,6$ und $3,3\text{ }\mu$ breit und $17 - 99\text{ }\mu$ lang.

Die Anzahl der Überlappungen des Füllungsmaterials ist sehr klein. Nur bei zwei Füllungen läßt sich jeweils ein kleiner Bereich finden. Durch die Nachbearbeitung mit dem Diamanten sind die an die Füllung angrenzenden Schmelzpartien jedoch sehr stark durch Schliffrillen angeraut.

In Tabelle 3 folgt eine Zusammenfassung aller Meßergebnisse aus der Versuchsreihe der mit dem Diamanten nachbearbeiteten Adaptic-Füllungen.

Abb. 8: Adaptic-Füllung, mit Diamantstein nachbearbeitet, nach Legen der Füllung



Füllung II;
Spalt 3;
Füllungsmaterial
links vom Füllungs-
rand;

Die Aufnahme zeigt
die breiteste Stelle
eines 1,6µ breiten
und 50µ langen
Spaltes (Pfeil).

Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 3: Versuchsreihe A d a p t i c , nachbearbeitet mit
Diamantschleifstein

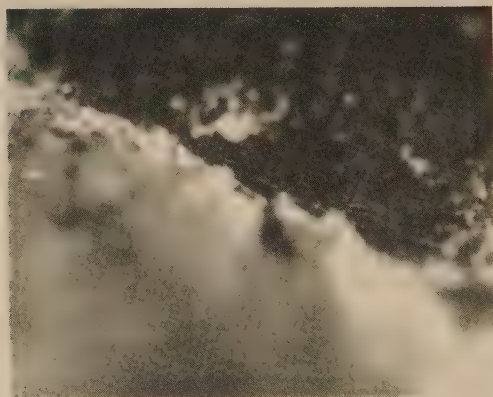
Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei
den Nachuntersuchungen

Füllung	Rand- spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperatur- belastung
I	1	40µ/1,6µ			26µ/1,6µ
	2	20µ/6,6µ	16,5µ/5µ	16,5µ/5µ	76µ/6,6µ
	3	50µ/6,6µ	33µ/5µ	33µ/3,3µ	83µ/6,6µ
	4				16,5µ/1,6µ
	5				56µ/3,3µ
=====					
II	1	26µ/5µ	16,5µ/3,3µ	16,5µ/3,3µ	73µ/10µ
	2	20µ/3,3µ	16,5µ/1,6µ	16,5µ/1,6µ	36µ/3,3µ
	3	50µ/3,3µ	43µ/1,6µ	36µ/1,6µ	53µ/3,3µ
	4				36µ/3,3µ
	5				33µ/1,6µ
	6				99µ/5µ
=====					
III	1	126µ/3,3µ	76µ/3,3µ	73µ/3,3µ	86µ/3,3µ
	2	83µ/6,6µ	36µ/3,3µ	33µ/3,3µ	50µ/3,3µ
	3	43µ/6,6µ	23µ/5µ	23µ/5µ	50µ/6,6µ
	4	100µ/5µ	36µ/3,3µ	33µ/1,6µ	106µ/3,3µ
	5				33µ/1,6µ
	6				66µ/3,3µ
	7				26µ/1,6µ
=====					
IV	1	148µ/6,6µ	110µ/6,6µ	110µ/6,6µ	158µ/6,6µ
	2	50µ/3,3µ	33µ/3,3µ	33µ/3,3µ	43µ/5µ
	3	40µ/3,3µ	33µ/1,6µ	26µ/1,6µ	53µ/3,3µ
	4				26µ/1,6µ
	5				30µ/3,3µ
	6				23µ/1,6µ
=====					

Fortsetzung Tabelle 3:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperatur- belastung
V	1	100 μ /3,3 μ	63 μ /3,3 μ	60 μ /1,6 μ	116 μ /6,6 μ
	2	43 μ /5 μ	36 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	56 μ /5 μ
	3				40 μ /3,3 μ
	4				17 μ /1,6 μ
=====					
VI	1	23 μ /1,6 μ			56 μ /3,3 μ
	2	82 μ /6,6 μ	50 μ /3,3 μ	46 μ /3,3 μ	93 μ /3,3 μ
	3	175 μ /6,6 μ	85 μ /6,6 μ	79 μ /5 μ	97 μ /6,6 μ
	4	149 μ /3,3 μ	46 μ /1,6 μ	46 μ /1,6 μ	100 μ /5 μ
	5				59 μ /3,3 μ
	6				36 μ /1,6 μ

Abb. 9: Adaptive-Füllung, mit Diamantstein nachbearbeitet,
nach 1 Woche



Füllung IV;

Spalt 1;

Füllungsmaterial
unterhalb des Fül-
lungsrandes;

Es wurde die größte
Breite (6,6 μ) dieses
Spaltes photographiert.
Der weitere Spaltver-
lauf rechts dieser
Stelle liegt bereits
im Unschärfen.

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 10: Adaptic-Füllung, mit Diamantstein nachbearbeitet,
nach 4 Wochen



Füllung III;

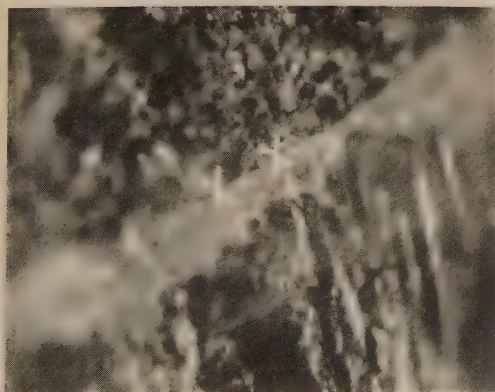
Spalt 1;

Füllungsmaterial
oberhalb des Füllungs-
randes;

Die Aufnahme gibt den
gesamten Spaltbereich
mit einer Länge von 73μ
(Grenzen durch x mar-
kiert) und einer maxima-
len Breite von $3,3\mu$
(Pfeil) wieder.

Vergrößerung: 1 : 100;

Abb. 11: Adaptic-Füllung, mit Diamantstein nachbearbeitet,
nach Temperaturbelastung



Füllung I;

Spalt 1;

Füllungsmaterial
oberhalb des Füllungs-
randes;

Dieser 26μ lange und
 $1,6\mu$ breite Spalt
(Pfeil) war nach Legen
der Füllung mit etwas
größerer Länge vor-
handen, hatte sich
aber nach einer Woche
geschlossen.

In dieser Aufnahme sind
deutlich die durch die
Diamantnachbearbeitung
entstandenen Schliff-
rillen im Schmelz senk-
recht zum Füllungsrand
erkennbar.

Vergrößerung: 1 : 100;

III. Concise

Ähnliche Randschlußigenschaften wie Adaptic zeigt Concise. Nach dem Legen differieren die Spaltbreiten bei diesen Füllungen im allgemeinen zwischen $1,6$ und $3,3 \mu$. Nur an zwei Stellen sind Spalten von 5μ meßbar. Mit nur zwei Ausnahmen von 86μ und 129μ Länge liegen die Spaltlängen bei diesem Material ansonsten im Bereich zwischen 23μ und 56μ .

Nach einer Woche sind 60% der Spalten noch enger geworden, so daß nur mehr ein Drittel der noch vorhandenen Spalten $3,3 \mu$ breit ist, die übrigen zwei Drittel liegen sogar noch darunter. Gleichzeitig haben sich alle Spalten um $10 - 35 \%$ verkürzt. Ein kleiner Spaltabschnitt aus der ersten Untersuchung ist nicht mehr meßbar.

Nach vier Wochen zeigen sich nur noch geringe Veränderungen bei allen Spaltabschnitten. Die Spaltbreiten haben sich praktisch nicht verändert. Lediglich in einem Bereich ist eine geringe Verbreiterung von $0,6 \mu$ eingetreten. Bei 7 der insgesamt 16 Spalten läßt sich nach vier Wochen keine Veränderung der Spaltlänge mehr feststellen. Bei weiteren 7 Randspalten sind nochmals Verkürzungen um $5 - 15 \%$ eingetreten. Ein Spalt ist von 17μ auf 20μ länger geworden. Bei einer Füllung hat sich nach vier Wochen ein kleiner 20μ langer und $1,6 \mu$ breiter Spalt neu gebildet.

Eine erhebliche Verschlechterung der bisher guten Randschlußqualität bewirkt die Temperaturbelastung. Die Spaltbreiten nehmen bis auf drei Ausnahmen zum Teil deutlich zu. Es treten Verbreiterungen um $1,1 \mu$ bis $6,4 \mu$ ein. Die größte Spaltbreite beträgt nun 8μ . Außerdem kommt es bei allen Spalten zu bemerkenswerten Verlängerungen, in vielen Fällen um ein Zwei- bis Dreifaches der Länge, die nach vier Wochen gemessen worden ist. Ferner treten bei allen Füllungen mehrere neue Spalten auf, die teilweise bis $3,3 \mu$ und 5μ breit und maximal 89μ lang sind.

Bei drei Füllungen haben sich Überlappungen nicht vermeiden lassen. Eine Füllung weist drei Bereiche auf, bei den

zwei anderen Füllungen haben sich jeweils zwei Stellen gezeigt, wo Füllungsmaterial den Schmelz überdeckt.

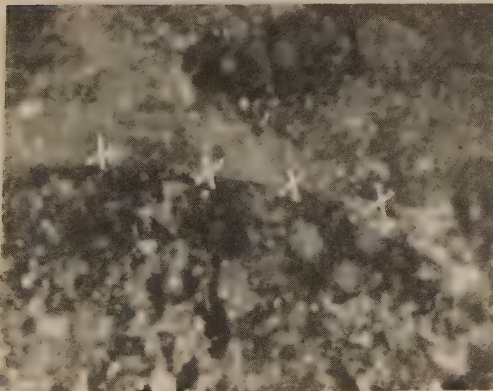
Eine zusammenfassende Übersicht aller Meßergebnisse der Nachuntersuchung bei Concise-Füllungen ist in Tabelle 4 wiedergegeben.

Abb. 12: Concise-Füllung, nach Legen der Füllung



Füllung IV;
Spalt 2;
Füllungsmaterial links
vom Füllungsrand;
Gesamtaufnahme eines
1,6 μ breiten und
33 μ langen Spaltes;
die Spaltgrenzen
sind markiert;
Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 13: Concise-Füllung nach 4 Wochen



Füllung VI;
Füllungsmaterial
unterhalb des Füllungs-
randes;
Hier ist ein spalt-
loser Randbereich
dieser Füllung photo-
graphiert worden.
Der Randverlauf ist
durch Kreuze markiert.
Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 4: Versuchsreihe C o n c i s e

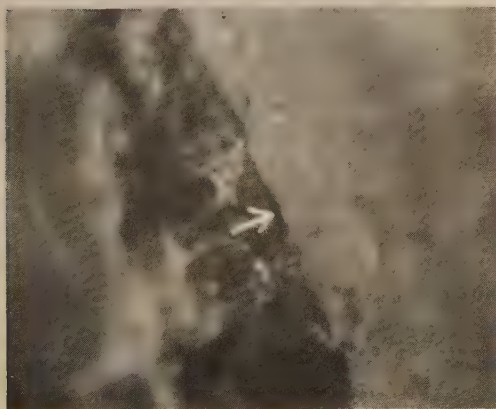
Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei den Nachuntersuchungen

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
I	1	53 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	116 μ /3,3 μ
	2	36 μ /2,2 μ	33 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	161 μ /6,6 μ
	3	26 μ /5 μ	17 μ /3,3 μ	20 μ /3,3 μ	50 μ /3,3 μ
	4	56 μ /3,3 μ	50 μ /3,3 μ	46 μ /3,3 μ	73 μ /5 μ
	5				60 μ /2,2 μ
	6				33 μ /2,2 μ
	7				26 μ /3,3 μ
=====					
II	1	129 μ /2,2 μ	96 μ /1,6 μ	92 μ /1,6 μ	221 μ /5 μ
	2	53 μ /3,3 μ	40 μ /1,6 μ	40 μ /1,6 μ	73 μ /3,3 μ
	3			20 μ /1,6 μ	36 μ /3,3 μ
	4				53 μ /3,3 μ
	5				50 μ /2,2 μ
	6				30 μ /2,2 μ
=====					
III	1	43 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	53 μ /3,3 μ
	2	23 μ /3,3 μ	20 μ /1,6 μ	17 μ /1,6 μ	53 μ /3,3 μ
	3				82 μ /3,3 μ
	4				50 μ /2,2 μ
	5				36 μ /1,6 μ
	6				69 μ /5 μ
=====					
IV	1	40 μ /3,3 μ	36 μ /1,6 μ	36 μ /2,2 μ	100 μ /3,3 μ
	2	33 μ /1,6 μ	30 μ /1,6 μ	30 μ /1,6 μ	85 μ /3,3 μ
	3	40 μ /1,6 μ	26 μ /1,1 μ	26 μ /1,1 μ	56 μ /2,2 μ
	4				53 μ /3,3 μ
	5				23 μ /3,3 μ
	6				50 μ /1,6 μ
	7				82 μ /3,3 μ
=====					

Fortsetzung Tabelle 4:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
V	1	30 μ /1,6 μ			40 μ /2,2 μ
	2	50 μ /1,6 μ	43 μ /1,1 μ	40 μ /1,1 μ	92 μ /3,3 μ
	3	86 μ /1,6 μ	63 μ /1,6 μ	59 μ /1,6 μ	115 μ /8 μ
	4				23 μ /1,6 μ
	5				36 μ /2,2 μ
=====					
VI	1	56 μ /5 μ	46 μ /3,3 μ	43 μ /3,3 μ	139 μ /5 μ
	2	53 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	30 μ /3,3 μ	59 μ /3,3 μ
	3				43 μ /3,3 μ
	4				89 μ /3,3 μ
	5				43 μ /1,6 μ
	6				20 μ /1,6 μ

Abb. 14: Concise-Füllung, nach Temperaturbelastung



Füllung II;
Spalt 1;
Füllungsmaterial links vom Füllungsrand;
Die Aufnahme zeigt den mit 5 μ breitesten Abschnitt (Pfeil) dieses Spaltes. Der nach oben weiter verlaufende Spalt ist jedoch nicht mehr scharf darstellbar.
Vergrößerung: 1 : 100

IV. Concise-Enemal-Bond

Die nach der Vorbehandlung mit dem Enemal-Bond-System gelegten Concise-Füllungen zeigen bei der ersten Nachkontrolle die besten Randschlußergebnisse. Nur bei einer Füllung sind drei Randspaltbereiche entstanden, bei drei Füllungen sind es jeweils zwei und bei zwei Füllungen nur einer. Die Spaltbreiten schwanken zwischen 1,6 und 3,3 μ , die Spaltlängen liegen zwischen 16 μ und 76 μ .

Nach einer Woche sind die Spalten noch kleiner: Bei der Hälfte der Spalten hat sich die Breite bis um 1,7 μ verringert, während bei der anderen Hälfte die Breite gleich bleibt. Bis auf eine Ausnahme von 3,3 μ sind die Spalten nurmehr 1,6 und 2,2 μ breit. Außerdem hat sich bei allen Spaltabschnitten die Länge um 15 - 40 % verringert.

Nach vier Wochen sind nur noch geringe Veränderungen festzustellen. Die Spaltbreiten sind bis auf eine Verkleinerung gleich geblieben. Hinsichtlich der Länge zeigen sich noch einige kleine Schwankungen: Bei der Hälfte der Spalten läßt sich nochmals eine Verkürzung um 10 - 20 % messen, ein Spaltabschnitt ist um 3 μ - das entspricht in diesem Fall 10 % - länger geworden, die übrigen Spalten sind gleich geblieben. Eine Füllung zeigt nach vier Wochen einen zusätzlichen sehr kleinen, 16,5 μ langen und 1,6 μ breiten Spaltabschnitt.

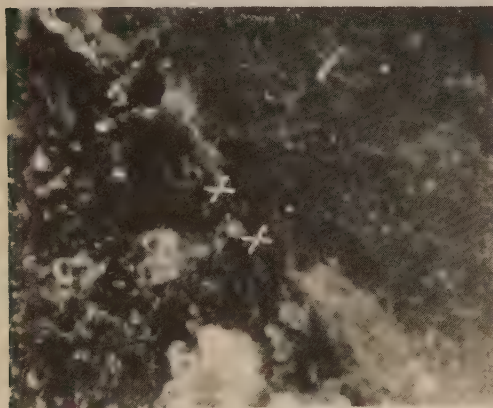
Der Wechseltauchversuch bringt bei diesem Material ebenfalls eine deutliche Zunahme der Spaltbreiten und -längen und auch der Spaltabschnitte insgesamt. Die Spaltbreiten nehmen in allen Fällen zwischen 0,6 μ und 2,8 μ zu. Mit Ausnahme von einer Stelle von 5 μ Breite sind die Spalten sonst dennoch nur bis 3,3 μ breit. Die Längenzunahmen sind erheblich und betragen in allen Fällen mindestens das Zweifache der Länge nach vier Wochen. Bei einer Füllung haben sich zwei benachbarte Spalten vereinigt. Die absoluten Spaltlängen sind dennoch immer noch im Vergleich zu den übrigen Materialien gering und betragen maximal 125 μ bzw. 135 μ . Alle Füllungen weisen

auch neue Spaltabschnitte auf, die im Vergleich zu den übrigen Ergebnissen dieses Materials relativ groß sind. Die Maxima liegen bei $3,3 \mu$ Breite und 123 Länge.

Häufig findet man bei Concise-Enemal-Bond Überlappungsstellen. Nur bei einer Füllung konnten alle Überschüsse restlos entfernt werden. Bei drei Füllungen ist ein Überlappungsbereich zurückgeblieben, bei einer Füllung sind es zwei Stellen und bei einer Füllung drei Bereiche.

In Tabelle 5 sind alle Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe zusammengefaßt.

Abb. 15: Concise-Enemal-Bond - Füllung, nach Legen der Füllung



Füllung V;

Spalt 1;

Füllungsmaterial
links vom Füllungs-
rand;

Das Bild zeigt einen
 $1,6\mu$ breiten und 20μ
langen Spalt. (Spalt-
grenzen durch x mar-
kiert)

Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 5: Versuchsreihe C o n c i s e - E n e m a l - B o n d

Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei den Nachuntersuchungen

Füllung	Randspalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
I	1	16 μ /3,3 μ	13 μ /2,2 μ	13 μ /2,2 μ	40 μ /5 μ
	2	20 μ /1,6 μ	13 μ /1,6 μ	13 μ /1,6 μ	59 μ /3,3 μ
	3				123 μ /2,2 μ
	4				16,5 μ /1,6 μ
	5				53 μ /3,3 μ
	6				33 μ /1,6 μ
=====					
II	1	46 μ /3,3 μ	33 μ /3,3 μ	30 μ /3,3 μ	135 μ (1+2)/3,3 μ 1)
	2	59 μ /3,3 μ	50 μ /2,2 μ	50 μ /2,2 μ	siehe Spalte 1
	3	23 μ /1,6 μ	16,5 μ /1,6 μ	14 μ /1,6 μ	122 μ /3,3 μ
	4				40 μ /3,3 μ
	5				53 μ /3,3 μ
=====					
III	1	23 μ /1,6 μ	16,5 μ /1,6 μ	13 μ /1,1 μ	40 μ /2,2 μ
	2				36 μ /1,6 μ
	3				50 μ /2,2 μ
	4				30 μ /1,6 μ
=====					
IV	1	26 μ /2,2 μ	16,5 μ /1,6 μ	16,5 μ /1,6 μ	33 μ /3,3 μ
	2				23 μ /2,2 μ
	3				86 μ /2,2 μ
	4				40 μ /1,6 μ
=====					
V	1	20 μ /1,6 μ			23 μ /1,6 μ
	2	53 μ /2,2 μ	33 μ /2,2 μ	36 μ /2,2 μ	125 μ /3,3 μ
	3			16,5 μ /1,6 μ	56 μ /2,2 μ
	4				26 μ /1,6 μ
	5				23 μ /2,2 μ
=====					

1) Der Klammerausdruck bedeutet, daß die ursprünglich selbständigen Spalten zu einem Spaltabschnitt verschmolzen sind.

Fortsetzung Tabelle 5:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperatur- belastung
VI	1	76 μ /3,3 μ	43 μ /1,6 μ	40 μ /1,6 μ	100 μ /3,3 μ
	2	33 μ /2,2 μ	23 μ /1,6 μ	20 μ /1,6 μ	59 μ /2,2 μ
	3				16,5 μ /2,2 μ
	4				53 μ /1,6 μ
	5				46 μ /1,6 μ

Abb. 16: Concise Enemal Bond - Füllung, nach 1 Woche



Füllung II;
Spalt 2;
Füllungsmaterial oberhalb des Füllungsrandes;
Der Pfeil deutet auf die breiteste Stelle (2,2 μ) dieses in seiner Gesamtlänge nicht scharf abzubildenden Spaltes.
Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 17: Concise Enemal Bond - Füllung, nach Temperaturbelastung



Füllung II;
Spalt 3;
Füllungsmaterial links vom Füllungsrand;
Die Abbildung zeigt den größten Teil dieses bis 3,3 μ breiten Spaltes (Pfeil).
Vergrößerung: 1 : 100

V. Estic

Estic-Füllungen weisen nach dem Legen einen befriedigenden Randschluß auf. Es zeigen sich zwar bei jeder Füllung zwei bis drei Spaltabschnitte, jedoch mit einer Breite von nur $1,6\text{ }\mu$ bis maximal $6,6\text{ }\mu$. Die Spaltlängen schwanken zwischen $17\text{ }\mu$ und $76\text{ }\mu$. Lediglich ein Spalt weicht hier mit $990\text{ }\mu$ stark ab.

Nach einer Woche kommt es noch zu einer Verbesserung der Randschlußqualität. Bei $2/3$ der Spalten vermindert sich die Breite um $0,5 - 1,7\text{ }\mu$, während die übrigen Spalten gleich bleiben. Die durchschnittliche Spaltbreite beträgt nun $1,6 - 3,3\text{ }\mu$. Mit einer Ausnahme verringert sich bei allen Spalten auch die Länge um durchschnittlich $25 - 40\%$. Drei ursprünglich vorhandene kleine Spaltabschnitte sind vollständig geschlossen und nicht mehr auffindbar.

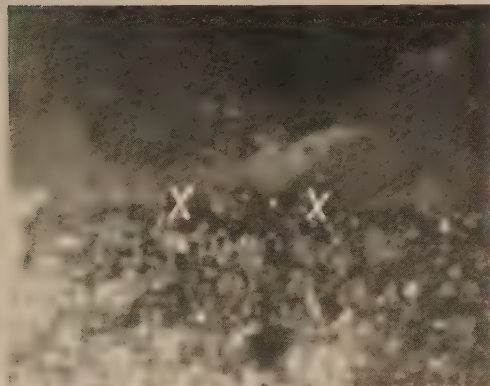
Nach vier Wochen findet man bei knapp der Hälfte der Spalten eine geringe Verbreiterung um ca. $0,5\text{ }\mu$, während die Breite der übrigen Spalten unverändert bleibt. Fast alle Spalten zeigen jedoch eine Längenzunahme von $10 - 60\%$. Die Spaltbereiche, die nach einer Woche verschwunden waren, treten wieder auf, jedoch mit geringerer Länge und Breite. Bei allen Füllungen treten zusätzlich neue, wenn auch kleine Randspaltbereiche bis maximal $3,3\text{ }\mu$ Breite und $60\text{ }\mu$ Länge auf.

Die Temperaturbelastung im Wechseltauchversuch führt ebenfalls zu einer weiteren Vergrößerung der vorhandenen Spalten und zur Neuentstehung von Spaltabschnitten. Bei 60% der Spalten tritt eine weitere Verbreiterung von $0,7 - 4,5\text{ }\mu$ ein, die Breiten bei den übrigen 40% bleiben unverändert. Alle Spaltabschnitte werden jedoch zum Teil erheblich länger. Die durchschnittliche Spaltlänge liegt bei $40 - 110\text{ }\mu$, die Maxima liegen bei $396\text{ }\mu$ und $1220\text{ }\mu$. Außerdem bewirkt die Temperaturbelastung die Entstehung neuer Spalten, die bis zu $8,2\text{ }\mu$ breit und $396\text{ }\mu$ lang sind.

Die Nachbearbeitung des Füllungsüberschusses bzw. des Füllungsrandes zeigt bei Estic folgendes Ergebnis: Nur bei zwei Füllungen sind Überschüsse im Sinne einer Überlappung des Füllungsmaterials bestehen geblieben, dabei auch nur in einem beziehungsweise zwei kleinen Bereichen.

Die Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Einzelergebnisse der Nachuntersuchung des Materials Estic.

Abb. 18: Estic-Füllung, nach Legen der Füllung



Füllung VI;

Spalt 2;

Füllungsmaterial
unterhalb des Füllungs-
randes;

Gesamtaufnahme eines
40µ langen und 2,2µ
breiten Spaltes
(Grenzen markiert);

Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 6: Versuchsreihe E s t i c

Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei den Nachuntersuchungen

Füllung	Randspalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
I	1	23 μ /1,6 μ	16 μ /1,1 μ	23 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ
	2	53 μ /3,3 μ	30 μ /1,6 μ	33 μ /2,2 μ	46 μ /3,3 μ
	3			33 μ /2,2 μ	110 μ /3,3 μ
	4				53 μ /5 μ
	5				56 μ /3,3 μ
	6				50 μ /2,2 μ
=====					
II	1	53 μ /3,3 μ	23 μ /1,6 μ	33 μ /2,2 μ	33 μ /2,2 μ
	2	30 μ /1,6 μ		16,5 μ /1,6 μ	40 μ /1,6 μ
	3			20 μ /1,6 μ	330 μ /2,2 μ
	4			26 μ /1,6 μ	60 μ /3,3 μ
	5				43 μ /2,2 μ
	6				46 μ /2,2 μ
=====					
III	1	36 μ /2,2 μ	20 μ /1,1 μ	33 μ /1,6 μ	56 μ /3,3 μ
	2	43 μ /3,3 μ	36 μ /1,6 μ	36 μ /1,6 μ	50 μ /3,3 μ
	3	20 μ /1,6 μ		13 μ /1,6 μ	26 μ /2,2 μ
	4			33 μ /3,3 μ	50 μ /3,3 μ
	5				66 μ /2,2 μ
=====					
IV	1	33 μ /1,6 μ	23 μ /1,6 μ	46 μ /1,6 μ	66 μ /3,3 μ
	2	990 μ /6,6 μ	925 μ /6,6 μ	932 μ /6,6 μ	1220 μ /6,6 μ
	3	56 μ /5 μ	43 μ /3,3 μ	43 μ /3,3 μ	66 μ /3,3 μ
	4			30 μ /3,3 μ	43 μ /3,3 μ
	5			46 μ /1,6 μ	60 μ /3,3 μ
	6			33 μ /3,3 μ	40 μ /5 μ
	7				30 μ /2,2 μ
=====					

Fortsetzung Tabelle 6:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperatur- belastung
V	1	43 μ /1,6 μ	40 μ /1,6 μ	50 μ /2,2 μ	215 μ /6,6 μ
	2	17 μ /1,6 μ	20 μ /1,6 μ	33 μ /1,6 μ	112 μ /5 μ
	3			60 μ /1,6 μ	66 μ /3,3 μ
	4				70 μ /1,6 μ
	5				33 μ /2,2 μ
	6				369 μ /8,2 μ
=====					
VI	1	76 μ /5 μ	66 μ /3,3 μ	76 μ /3,3 μ	175 μ /3,3 μ
	2	40 μ /2,2 μ			36 μ /3,3 μ
	3			30 μ /1,6 μ	70 μ /1,6 μ
	4			43 μ /3,3 μ	66 μ /3,3 μ
	5				92 μ /5 μ
	6				102 μ /1,6 μ
	7				33 μ /8,2 μ

Abb. 19: Ectic-Füllung, nach 1 Woche



Füllung IV;

Spalt 2;

Füllungsmaterial
oberhalb des Fül-
lungsrandes;

Die Aufnahme zeigt
einen Ausschnitt aus
dem Spaltverlauf, die
breitesten Stellen
(Pfeile) betragen
6,6 μ .

Vergrößerung: 1 : 100

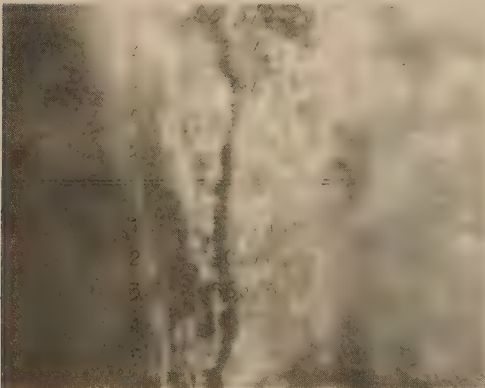
Abb. 20: Estic-Füllung, nach 4 Wochen



Füllung IV;
Spalt 4;
Füllungsmaterial rechts
vom Füllungsrand;
Hier wird ein nach
4 Wochen neu entstan-
dener Spalt gezeigt.
Er ist bis zu $3,3\mu$
(Pfeil) breit. Die
beiden Enden dieses
Spaltes sind nicht
mehr scharf darge-
stellt.

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 21: Estic-Füllung, nach Temperaturbelastung



Füllung V;
Spalt 6;
Füllungsmaterial links
vom Füllungsrand;
Die Aufnahme zeigt
einen bis zu $8,2\mu$
breiten Ausschnitt
dieses Spaltes.

Vergrößerung: 1 : 100

VI. Palakav

Nach dem Legen weisen alle Füllungen mehrere Spaltabschnitte mit unterschiedlicher Länge und Breite auf. Die Spaltbreiten schwanken zwischen $3,3\ \mu$ und $59\ \mu$, wobei die häufigsten Spalten $5 - 8\ \mu$ breit sind. Die Spaltlängen differieren von $23\ \mu$ bis $347\ \mu$.

Nach einer Woche tritt bei $3/4$ der Füllungen eine Zunahme der Spaltbreiten auf. Sie liegt im allgemeinen bei $1,6$ bis $3,3\ \mu$. In zwei Extremfällen findet man eine Spaltverbreiterung von $6,6$ bzw. $11,6\ \mu$. Es zeigt sich auch eine allgemeine Zunahme der Spaltlängen, die durchschnittlich in der Größenordnung zwischen $15 - 30\ \%$ liegt. In einigen Fällen kommt es auch zu einer Spaltverlängerung um ein Mehrfaches des Ausgangswertes. In zwei Fällen ist durch die Spaltverlängerung eine Vereinigung benachbarter Spaltabschnitte entstanden. Ferner findet man bei allen Füllungen neue Spalten, die zwischen $3,3$ und $13,2\ \mu$ breit und $20 - 170\ \mu$ lang sind. Auch hier liegt die häufigste Spaltbreite bei $3,3 - 6,6\ \mu$, die Längen weisen größere Abweichungen auf.

Nach vier Wochen zeigt sich bei etwa einem Drittel der Spalten keine Verbreiterung mehr, bei einem weiteren Drittel findet man eine geringe Breitenzunahme von $1,6 - 3,3\ \mu$, beim letzten Drittel treten jedoch noch größere Zunahmen bis maximal $10\ \mu$ auf. Die Spaltlängen haben ebenfalls in allen Fällen in unterschiedlichem Ausmaß zugenommen. Es kommt dabei zu Verlängerungen bis zu $100\ \%$. Weiterhin sind im Zusammenhang mit der Längenzunahme bei drei Füllungen benachbarte Spaltabschnitte miteinander verschmolzen.

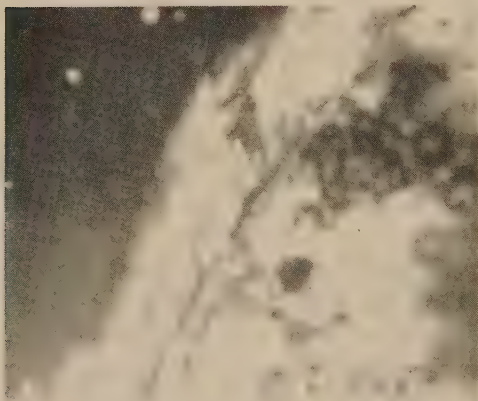
Nach dem Wechseltauchversuch kommt es nochmals zu deutlichen Zunahmen der Spaltbreiten und -längen. Außerdem entstehen durch die Temperaturbelastung neue Spaltabschnitte, die bis $6,6\ \mu$ breit und $410\ \mu$ lang sind. Die breitesten Spalten bei den einzelnen Füllungen messen $33\ \mu$, $72\ \mu$, $49\ \mu$, $39\ \mu$, $36\ \mu$, $43\ \mu$. Durch die weitere Längenzunahme und Spaltverschmel-

zungen sind Spalten von 1 mm Länge und mehr entstanden. Bei einer Füllung zieht sich ein Spalt um $\frac{2}{3}$ des Füllungsrandes.

Bei allen Füllungen lassen sich Füllungsabschnitte auffinden, in denen das Füllungsmaterial über den Kavitätenrand auf den Schmelz übergreift. Bei einer Füllung findet man eine solche Überlappung, bei drei Füllungen sind zwei Abschnitte vorhanden und bei den beiden anderen Füllungen sind drei bzw. vier Überlappungsbereiche zu finden.

In Tabelle 7 sind alle Meßergebnisse der Nachuntersuchungen bei den Palakav-Füllungen zusammengestellt.

Abb. 22: Palakav-Füllung, nach Legen der Füllung



Füllung I;
Spalt 2;
Füllungsmaterial
rechts vom Füllungs-
rand;
Die breiteste Stelle
dieses Spaltes
(Pfeil) mißt 6,6 μ ;
Vergrößerung: 1 : 100

Tabelle 7: Versuchsreihe P a l a k a v

Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen bei den Nachuntersuchungen

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
I	1	280 μ /8 μ	295 μ /8 μ	1/4 d.FR ¹⁾ (1+4+5)/ ₂ 13,2 μ	2/3 d. FR (1+3+4+5)/ 33 μ
	2	83 μ /6,6 μ	86 μ /8 μ	153 μ /13,2 μ	1/6 d.FR (2+6)/20 μ
	3	165 μ /20 μ	1/6 d.FR/ 26 μ	1/6 d.FR/ 26 μ	siehe Spalt 1
	4		27 μ /6,6 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
	5		170 μ /13,2 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
	6		40 μ /5 μ	50 μ /6,6 μ	siehe Spalt 2
=====					
II	1	33 μ /5 μ	363 μ /11,6 μ	677 μ /13,2 μ	1650 μ (1+5)/ 20 μ
	2	82 μ /6,6 μ	105 μ /6,6 μ	172 μ /6,6 μ	205 μ /8 μ
	3	172 μ /3,3 μ	204 μ /5 μ	175 μ /5 μ	182 μ /8 μ
	4	347 μ /59 μ	1/4 d.FR/ 62 μ	1/4 d. FR/ 65 μ	1/3 d.FR 72 μ
	5		42 μ /6,6 μ	53 μ /6,6 μ	siehe Spalt 1
	6				165 μ /3,3 μ
	7				70 μ /3,3 μ
=====					

1) d.FR ist Abkürzung für "des Füllungsrandes"

2) Die Klammerausdrücke bedeuten, daß die ursprünglich selbständigen Spalten zu einem zusammenhängenden Spaltabschnitt verschmolzen sind.

Diese Anmerkungen gelten auch für die noch folgenden Tabellen!

Fortsetzung Tabelle 7:

Füllung	Rand-spalt	nach Legen der Füllung	nach 1 Woche	nach 4 Wochen	nach 5 Wochen u. Temperaturbelastung
III	1	36 μ /6,6 μ	43 μ /6,6 μ	690 μ (1+4)/11,5 μ	1580 μ (1+4)/13,2 μ
	2	168 μ /42 μ	175 μ /42 μ	198 μ /42 μ	264 μ /49 μ
	3	125 μ /3,3 μ	232 μ /5 μ	165 μ /13,2 μ	1600 μ (3+5)/23 μ
	4	184 μ /6,6 μ	246 μ /11,5 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
	5		68 μ /5 μ	82 μ /6,6 μ	siehe Spalt 3
	6				63 μ /3,3 μ
	7				150 μ /5 μ
	8				66 μ /6,6 μ
=====					
IV	1	36 μ /3,3 μ	92 μ (1+2)/10 μ	116 μ (1+2)/10 μ	1290 μ (1+2)/13,2 μ
	2	24 μ /6,6 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
	3	380 μ /6,6 μ	390 μ /16,5 μ	560 μ /16,5 μ	1650 μ /39 μ
	4		76 μ /5 μ	100 μ /8 μ	115 μ /13,2 μ
	5				410 μ /3,3 μ
=====					
V	1	40 μ /6,6 μ	287 μ /8 μ	446 μ (1+4)/13,2 μ	2040 μ (1+4)/36 μ
	2	56 μ /10 μ	73 μ /10 μ	264 μ /13,2 μ	875 μ /16,5 μ
	3	50 μ /3,3 μ	66 μ /6,6 μ	106 μ /10 μ	165 μ /10 μ
	4		20 μ /3,3 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
=====					
VI	1	116 μ /8 μ	406 μ (1+4)/20 μ	645 μ (1+4)/20 μ	802 μ (1+4)/23 μ
	2	76 μ /3,3 μ	96 μ /5 μ	230 μ /10 μ	1/2 d.FR(2+3)/43 μ
	3	123 μ /26 μ	156 μ /30 μ	222 μ /40 μ	siehe Spalt 2
	4	46 μ /3,3 μ	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1	siehe Spalt 1
	5		33 μ /3,3 μ	43 μ /5 μ	50 μ /5 μ
	6				172 μ /3,3 μ
	7				100 μ /6,6 μ

Abb. 23: Palakav-Füllung, nach 1 Woche



Füllung II;

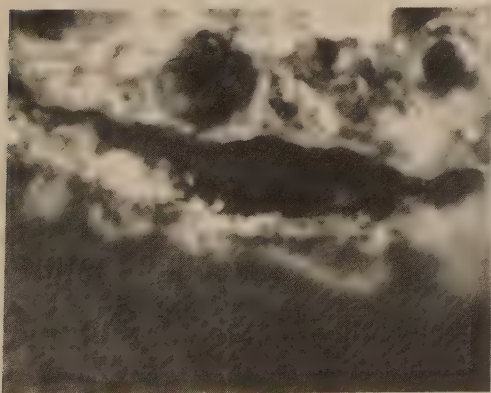
Spalt 1;

Füllungsmaterial links
vom Füllungsrand;

Die Abbildung zeigt
einen bis zu $11,2\mu$
breiten Abschnitt
(Pfeil) dieses Spaltes.

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 24: Palakav-Füllung, nach 4 Wochen



Füllung II;

Spalt 4;

Füllungsmaterial ober-
halb des Füllungsran-
des;

Es handelt sich bei
der Aufnahme um einen
bis zu 50μ breiten
Abschnitt dieses
Spaltes.

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 25: Palakav-Füllung, nach Temperaturbelastung



Füllung II;

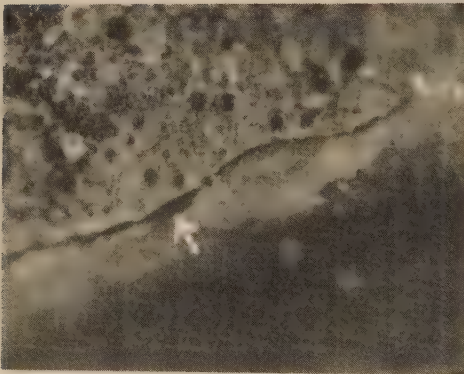
Spalt 4;

Füllungsmaterial links
vom Füllungsrand;

Die Spaltbreite dieses
Ausschnittes beträgt 72µ

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 26: Palakav-Füllung, nach Temperaturbelastung



Füllung VI;

Spalt 1;

Füllungsmaterial ober-
halb des Füllungs-
randes;

Die Aufnahme zeigt bei
kleinerer Vergrößerung
einen längeren Spalt-
verlauf. Die breiteste
Stelle dieses Spaltes
beträgt 10µ.

Bereits bei dieser
Vergrößerung lassen
sich in der Füllungs-
oberfläche die Hohl-
räume erkennen, die

durch das Ausschlagen der Glaskugeln beim Finnieren während der
Nachbearbeitung des Füllungsrandes entstanden sind.

Vergrößerung: 1 : 40

VII. Palakav, vorher mit 37 % Phosphorsäure angeätzt

Die nach Anätzen des Kavitätenrandes mit 37 % Phosphorsäure gelegten Palakav-Füllungen zeigen ein deutlich besseres Ergebnis als die unvorbehandelten Füllungen mit Palakav. Die drei nachuntersuchten Füllungen weisen jeweils drei bis vier Spaltabschnitte auf. Die Spaltbreiten schwanken von $1,6\text{ }\mu$ bis maximal $8\text{ }\mu$, die durchschnittliche Spaltbreite liegt bei $3,3\text{ }\mu$. Die Spaltlängen reichen von $26\text{ }\mu$ bis $280\text{ }\mu$.

Nach drei Wochen haben sich die Spalten etwas verkleinert. Die Spaltbreite ist bei drei der insgesamt elf Spaltbereiche um ca. $1,7\text{ }\mu$ kleiner geworden, zwei $1,6\text{ }\mu$ breite und $26\text{ }\mu$ bzw. $33\text{ }\mu$ lange Spalten sind nicht mehr auffindbar. Die Längen haben sich bei allen Spalten um 10 - 45 % vermindert.

Eine sehr deutliche Verschlechterung ist nach der Temperaturbelastung eingetreten. Es zeigen sich Spaltverbreiterungen um $1,7$ bis $5\text{ }\mu$, so daß die größten Breiten $8\text{ }\mu$ und $10\text{ }\mu$ ausmachen. Die Längen nehmen um durchschnittlich 100 % zu. Außerdem sind bei allen drei Füllungen zahlreiche neue, bis $165\text{ }\mu$ lange und $10\text{ }\mu$ breite Spaltabschnitte hinzugekommen.

Bei jeder Füllung lassen sich Überlappungsbereiche feststellen. Im einzelnen sind es bei einer Füllung zwei, bei einer weiteren Füllung drei und bei der dritten Füllung vier Überlappungsstellen.

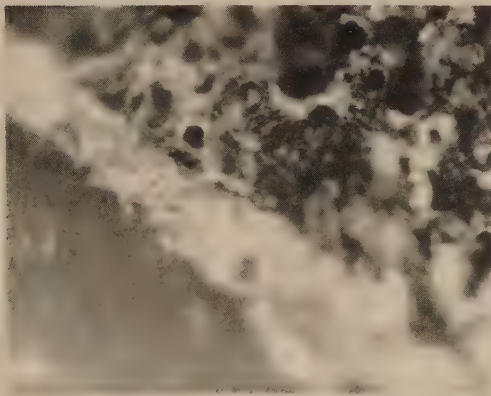
Eine Übersicht dieser Untersuchungsergebnisse bei Palakav-Füllungen nach vorheriger Anätzung ist in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8: Versuchsreihe P a l a k a v , nach Anätzen mit
37 % Phosphorsäure

Längen und Breiten der Randspalten der Füllungen
bei den Nachuntersuchungen

Füllung	Rand- spalt	nach Legen der Füllung	nach 3 Wochen	nach 4 Wochen u. Temperatur- belastung
I	1	198 μ /3,3 μ	148 μ /3,3 μ	386 μ (1+2)/6,6 μ
	2	43 μ /3,3 μ	40 μ /3,3 μ	siehe Spalt 1
	3	280 μ /6,6 μ	175 μ /5 μ	313 μ /5 μ
	4			175 μ /3,3 μ
	5			56 μ /6,6 μ
	6			76 μ /5 μ
	7			73 μ /5 μ
	8			66 μ /3,3 μ
=====				
II	1	96 μ /2,2 μ	79 μ /2,2 μ	122 μ /5 μ
	2	26 μ /1,6 μ		53 μ /3,3 μ
	3	198 μ /5 μ	125 μ /5 μ	313 μ /10 μ
	4	86 μ /8 μ	70 μ /8 μ	100 μ /8 μ
	5			89 μ /5 μ
	6			56 μ /3,3 μ
=====				
III	1	132 μ /5 μ	73 μ /3,3 μ	257 μ /5 μ
	2	82 μ /3,3 μ	69 μ /3,3 μ	100 μ /5 μ
	3	33 μ /1,6 μ		69 μ /3,3 μ
	4	46 μ /3,3 μ	30 μ /1,6 μ	60 μ /3,3 μ
	5			125 μ /10 μ
	6			69 μ /3,3 μ
	7			26 μ /1,6 μ
	8			36 μ /5 μ

Abb. 27: Palakav-Füllung, mit Phosphorsäure vorbehandelt,
nach Legen der Füllung



Füllung I;

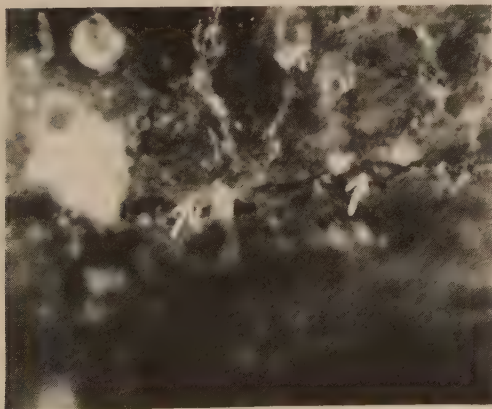
Spalt 1;

Füllungsmaterial rechts
oberhalb des Füllungs-
randes;

Im Bild ist die mit
3,3μ breiteste Stelle
dieses Spaltes (Pfeil)
zu erkennen. Der wei-
tere Verlauf des Spal-
tes ist verschwommen.

Vergrößerung: 1 : 100

Abb. 28: Palakav-Füllung, mit Phosphorsäure vorbehandelt,
nach Temperaturbelastung



Füllung III;

Spalt 5;

Füllungsmaterial ober-
halb des Füllungsrandes;

Die größten Breiten bei
diesem Spalt betragen
bis 10μ. Dieser Spalt
ist erst nach der Tem-
peraturbelastung ent-
standen.

Die Füllungsmaterial-
abrisse innerhalb des
Spaltraumes (Pfeil)
deuten darauf hin, daß
die Entstehung dieses
Spaltes auf die tempe-

raturbedingten Spannungen zwischen Füllungsmaterial und Schmelz zu-
rückzuführen sind.

Vergrößerung: 1 : 100

F. K r i t i s c h e B e u r t e i l u n g

Die Ergebnisse der Randspaltuntersuchungen bei den verschiedenen Composite-Füllungsmaterialien haben gezeigt, daß sich unter den gegebenen Versuchsbedingungen die einzelnen Materialien bzw. Materialgruppen unterschiedlich verhalten.

Die größten Randschlußfehler weist Palakav auf. Bereits nach Legen der Füllungen waren zum Teil erhebliche Spaltbreiten zu erkennen. Lediglich zwei der sechs Füllungen konnten einigermaßen befriedigen, die übrigen vier Füllungen hatten jeweils einen übermäßig großen Spaltabschnitt. Eine Erklärung für diese Spalten dürfte durch eine relativ große Polymerisationskontraktion gegeben sein, die in den entsprechenden Füllungsabschnitten die Adhäsionskräfte der Füllung übertroffen hat und somit zum Loslösen des Füllungsmaterials von der Kavitätenwand führte. Die hier gefundenen Ergebnisse decken sich mit den Meßwerten, die R I E D E L und Mitarbeiter bei ihren Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop erhielten, denn auch sie berichten von Spaltbreiten bei Palakavfüllungen zwischen $6\text{ }\mu$ und $72\text{ }\mu$.

Unerwartet ist das Verhalten der Palakavfüllungen während der Liegedauer in der physiologischen NaCl-Lösung, denn entgegen der angenommenen Quellung des Materials durch Wasseraufnahme und einer daraus resultierenden Spaltverkleinerung, entwickelte sich mit zunehmender Liegezeit die Tendenz zur Spaltvergrößerung und Spaltenzunahme, die zum Teil erhebliche Ausmaße annahm. Als Ursache könnte möglicherweise eine hohe Wasserlöslichkeit des Materials in Frage kommen, die jedoch von Untersuchern der werkstoffkundlichen Eigenschaften des Palakav (S T Ü B E N und K Ö C K , C.-H. F I S C H E R) nicht bestätigt wird. Eine andere Erklärung könnte sein, daß diese Spalten zwar von Anfang an in diesem Ausmaß - möglicherweise noch stärker ausgebildet - vorhanden waren, und daß sie jedoch durch den Schleifstaub, der beim Nachbearbeiten des Füllungsrandes entstanden ist, verschlossen wurden und daß somit auch das Ergebnis bei der Erstuntersuchung verfälscht

wurde. Durch die Liegezeit im Wasser könnten diese Partikel dann im Laufe der Zeit aus dem Spalt ausgewaschen worden sein. Um dieses Verhalten von Palakav eindeutig zu klären, wären noch weiterführende Untersuchungen notwendig.

Die Ergebnisse des Wechseltauchversuches bei extremen Temperaturdifferenzen machen deutlich, daß der thermische Expansionskoeffizient des Palakav noch verbessert, d.h. dem der Zahnhartsubstanzen mehr angeglichen werden muß. Infolge der unterschiedlichen Ausdehnungen von Zahn und Füllung beim raschen Temperaturwechsel entstehen an der Grenzfläche Füllung - Zahn Spannungen, die zum Abriß des Materials von der Kavitätenwand führen und somit eine Vergrößerung bereits bestehender Spalten und auch die Entstehung neuer Spalten bewirken.

Die Bowen-Composites Adaptic und Concise lieferten weitaus geringere Randspaltbreiten. Es ist bei dieser Materialgruppe gelungen, vor allem eine Verbesserung der Polymerisationskontraktion zu erreichen. Die Spaltbreiten zwischen $1,6\text{ }\mu$ und $6,6\text{ }\mu$ nach Legen der Füllung liegen in einem Bereich, der als tolerierbar bezeichnet werden darf, so daß wohl keine Bedenken gegen eine Anwendung in der Praxis bestehen dürften. Von ähnlichen Spaltbreiten bei Adaptic mit ungefähr $4\text{ }\mu$ berichtet auch T R I A D A N in seinen Arbeiten.

Mit der Lagerung in wäßrigem Milieu trat bei diesen Füllungsmaterialien nach einer Woche auch die erwartete Quellung ein, die eine Reduzierung der vorhandenen Spaltvolumina bewirkte, wodurch die Ergebnisse noch besser ausfielen. Da nach vier Wochen nur noch geringe Veränderungen im Sinne einer Verbesserung der Randspaltbefunde eintraten, darf man annehmen, daß nach etwa einer Woche das Maximum der H_2O -Sättigung in den Füllungen erreicht ist. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Berichten von A S M U S S E N und J Ø R G E N S E N , nach deren Studien bei Adaptic und anderen Composites nach 8 Tagen Liegezeit im Wasser ein einwandfreier Randschluß der Füllungen erreicht ist. In der vorlie-

genden Untersuchung sind bei allen Füllungen sowohl nach einer als auch nach vier Wochen zwar noch minimale Spaltabschnitte vorhanden, die jedoch kaum von Bedeutung sind.

Die Wechseltauchversuche brachten jedoch auch bei den Bowen-Harzen eine Verschlechterung des Randschlusses. Die größten Spaltbreiten lagen dann maximal bei $6,6\text{ }\mu$, in jeweils einem Fall bei $8\text{ }\mu$ und $10\text{ }\mu$, also Größenordnungen, die noch als befriedigend bezeichnet werden können, besonders wenn man die hohen thermischen Belastungen berücksichtigt.

Die Nachbearbeitung mit unterschiedlichen Instrumenten zeigte insgesamt nur eine geringe Auswirkung auf die Spaltbreite der Adaptic-Füllungen. Die Ergebnisse nach der Randbearbeitung mit dem Hartmetallfinnierer sind etwas besser als nach dem Glätten mit dem Diamantschleifstein. Die Anzahl der Spaltabschnitte nach Legen der Füllung war annähernd gleich, jedoch waren nach dem Finnieren nur 20 % der Spalten 5 bzw. $6,6\text{ }\mu$ breit, während nach Diamantbearbeitung bei 50 % der Spalten diese Breite zu finden war. Diese Unterschiede blieben auch im weiteren Versuchsablauf bestehen. Nach vier Wochen waren von den 18 Spaltabschnitten der finnierten Füllungen zwölf bis $1,6\text{ }\mu$ breit und sechs bis $3,3\text{ }\mu$. Bei den 17 Spalten der mit dem Diamant nachbearbeiteten Füllungen wiesen vier Spalten noch Breiten bis 5 und $6,6\text{ }\mu$ auf, sieben Spalten bis $3,3\text{ }\mu$ und sechs Spalten bis $1,6\text{ }\mu$. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Nachbearbeitungsmethoden besteht in der unter dem Mikroskop sichtbaren Schädigung der an die Füllung angrenzenden Schmelzpartien. Durch den Finnierer wird zwar oberflächlich etwas Schmelz abgetragen, jedoch erscheint die der Füllung benachbarte Schmelzoberfläche insgesamt glatter als nach der Bearbeitung mit dem Diamantstein, der im Schmelz erhebliche Rillen verursacht; diese Rillen könnten die Retention von Plaques und Belägen und damit die Entstehung neuer kariöser Läsionen begünstigen.

Auf Grund dieser Ergebnisse empfiehlt sich also zur Korrektur und Nachbearbeitung des Füllungsrandes bei Adaptic-Füllungen die Anwendung des wassergekühlten Hartmetallfinnier-

rers in der Turbine. Diese Empfehlung darf sicherlich auch auf die anderen Composite-Materialien nach der Bowen-Formel übertragen werden.

Vergleicht man nun die Füllungsänder zwischen Adaptic und Concise bei gleicher Nachbearbeitung mit dem Hartmetallfinnierer, so zeigte Concise bei der Erstuntersuchung etwas bessere Randspaltergebnisse als Adaptic: Von den insgesamt 16 Spaltabschnitten bei Concise waren nach Legen der Füllungen nur zwei $5\text{ }\mu$ breit, sechs wiesen eine Breite von $3,3\text{ }\mu$ auf, die restlichen Spalten lagen bei $2,2$ und $1,6\text{ }\mu$. Die Breiten der 18 Spaltabschnitte bei Adaptic betrugen bei vier Abschnitten 5 bzw. $6,6\text{ }\mu$, bei elf Spalten bis $3,3\text{ }\mu$ und bei drei Stellen bis $1,6\text{ }\mu$. Wegen der höheren Wasseraufnahme von Adaptic im Vergleich zu Concise, die sich in einer stärkeren Quellung des Materials bemerkbar machte, bestand nach vier Wochen Lagerung in physiologischer NaCl-Lösung praktisch kein Unterschied mehr in den Randeigenschaften zwischen den beiden Materialien. Nach DENNISON und CRAIG beträgt die Wasseraufnahme nach sieben Tagen Lagerung in Wasser bei Adaptic $0,59\text{ mg/cm}^2$ Oberfläche, bei Concise $0,20\text{ mg/cm}^2$.

Die Temperaturbelastung wirkte sich bei Concise stärker aus als bei Adaptic. Bei Adaptic entstanden nur 13 neue Spaltabschnitte, bei Concise dagegen 20. Dabei waren diese Spalten bei Adaptic durchschnittlich auch weniger breit und kürzer als bei Concise. Ferner machte sich bei Concise auch die Vergrößerung bereits bestehender Spalten stärker bemerkbar. Diese Versuchsergebnisse bestätigen den geringeren und damit günstigeren thermischen Expansionskoeffizienten bei Adaptic, der von LEE, SWARTZ und SMITH mit $22\text{ ppm/}^{\circ}\text{C}$ angegeben wird, während DENNISON und CRAIG für Concise $37,3\text{ ppm/}^{\circ}\text{C}$ ermittelten.

Die besten Ergebnisse konnten bei den Säure-Ätz-Composites Ectic und Concise Enimal Bond gefunden werden. Dabei wurde die Randqualität der Ectic-Füllungen durch Concise Enemal Bond noch übertroffen. Nach Legen der Füllungen schwankten die Breiten der insgesamt 14 Spalten bei Ectic zwischen $1,6$ und $5\text{ }\mu$, während bei

Concise Enemal Bond nur 11 Spaltbereiche bei einer maximalen Breite von $3,3 \mu$ auftraten. Das zweizeitige Einbringen des Füllungsmaterials - zuerst das Benetzen der angeätzten Kavitätenwände mit dem flüssigen Harz und anschließend das Auffüllen der Kavität mit dem vollständigen Composite - dürfte als Hauptursache für die geringere Auswirkung der Polymerisationsschrumpfung bei Concise Enemal Bond im Vergleich zu Estic und den reinen Composite Materialien gelten. Durch die starke Adhäsion des Füllungsmaterials in den durch das Ätzen entstandenen Mikroretentionen der Kavität findet die Polymerisationskontraktion im wesentlichen an der freien Füllungs Oberfläche statt, so daß die Randbereiche der Füllung davon weitgehend unberührt bleiben. Die Wasseraufnahme durch diese Füllungsmaterialien und die dadurch entstandene Quellung zeigte nach einer Woche bei beiden Materialien noch weitere Verbesserungen. Nach vier Wochen waren bei den Concise Enemal Bond Füllungen ähnlich den Adaptic- und Concise-Füllungen keine bedeutenden Änderungen im Randspaltverhalten mehr zu beobachten, womit gezeigt werden kann, daß auch hier die Sättigung der Wasseraufnahme nach einer Woche erreicht ist. Bei den Estic-Füllungen sind jedoch nach vier Wochen bei allen Füllungen neue, wenn auch relativ kleine Spaltabschnitte aufgetreten. Welche Faktoren diese Spaltenneubildung bewirken, bedarf noch einer Klärung. Eine Erklärung könnte möglicherweise einmal ein Nachlassen der Adhäsionskräfte des Füllungsmaterials im Randbereich durch die Lagerung im Wasser sein und zum zweiten noch im Füllungsmaterial vorhandene Spannungen, wobei dann das Zusammenwirken beider Faktoren zu diesen Mikroabrissen an der Kavitätenwand führen könnte.

Bei der Temperaturbelastung im Wechseltauchversuch zeigten beide Materialien den schon bekannten Mangel des noch unbefriedigenden thermischen Expansionskoeffizienten. Dabei hielten sich jedoch Spaltvergrößerungen und Spaltvermehrungen in Grenzen. Die Randspaltqualität bei Estic kann nach diesem Versuch den Ergebnissen bei Adaptic und Concise gleichgestellt werden. Die Füllungen mit Concise Enemal Bond wiesen trotz der relativen Verschlechterung noch

einen Füllungsrand mit Spaltbreiten bis nur $3,3\text{ }\mu$ - in einem Fall bis $5\text{ }\mu$ - auf.

Im direkten Vergleich der Ergebnisse zwischen Concise und Concise Enamel Bond wird der doch erhebliche Einfluß der Säure-Ätz-Technik auf die Randspaltbildung deutlich. Die durchschnittlichen Spaltbreiten und -längen sind bei Concise Enamel Bond - Füllungen insgesamt in allen Nachuntersuchungen kleiner als bei den Füllungen ohne Säure-ätzung mit Concise.

Eine Verbesserung des Randschlusses zeigten auch die in dem Zusatzversuch untersuchten Palakav-Füllungen, die nach Anätzen mit 37 % Phosphorsäure gelegt wurden. Während die nicht vorbehandelten Palakav-Füllungen doch erhebliche Spalten aufwiesen, lagen die jeweils größten Spaltbreiten bei den drei nach der Ätz-Technik gelegten Füllungen bei $5\text{ }\mu$, $6,5\text{ }\mu$ und $8\text{ }\mu$, im Durchschnitt waren die Spalten nurmehr $3,3\text{ }\mu$ breit. Die Untersuchung nach dreiwöchiger Lagerung in der Kochsalzlösung ließ eine Spaltverkleinerung erkennen, was auf eine Wasserabsorption durch das Füllungsmaterial schließen läßt. Die Wechseltauchversuche führten auch hier zu einer Spaltvergrößerung und Spaltvermehrung.

Da dieser Zusatzversuch nur mit drei Füllungen durchgeführt wurde und auch die Nachuntersuchung nach anderen Zeitabständen erfolgte, kann kein direkter Vergleich zwischen den Füllungen mit und ohne Anätzen angestellt werden. Man darf jedoch mit Sicherheit behaupten, daß durch eine Säurevorbehandlung vor Legen der Füllung - entsprechend dem Vorschlag M A S U H A R A S - der Randschluß von Palakav-Füllungen entscheidend verbessert werden kann.

Wenn man nun die Ergebnisse dieses zwar nach klinischen Gesichtspunkten orientierten, jedoch unter Laborbedingungen durchgeführten Versuches unter dem Blickwinkel der eingangs gestellten Frage betrachtet, ob die neuen Composite-Füllungsmaterialien einen "Dauerverband" kariöser Defekte der Zahnhartsubstanz im Sinne W A N N E N M A C H E R S darstellen können, so kann auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse diese Frage mit gewissen Einschränkungen positiv beantwortet werden. Die Composite-Materialien nach der Bowen-Formel weisen alle einen Randschluß auf, bei dem die

gefundenen Spaltbreiten innerhalb einer allgemein zugestanden Toleranzgrenze von 10 - 15 μ liegen. Eine wesentliche Bereicherung und Verbesserung auf dem Sektor der Füllungs-therapie mit Kunststoffen stellt die Säure-Ätz-Technik in Verbindung mit Composite-Materialien dar, wie besonders die Ergebnisse bei Concise Enamel Bond zeigen. Auch die Randschlußqualität der Palakav-Füllungen konnte durch die Vorbehandlung der Kavitäten mit Phosphorsäure deutlich verbessert werden.

Ein Schwachpunkt aller Composite-Materialien ist der thermische Ausdehnungskoeffizient, was sich auch bei allen in dieser Arbeit untersuchten Materialien zeigte. Von Seiten der Hersteller sind daher auf diesem Gebiet noch Bestrebungen notwendig, eine Materialkomposition mit einem der Zahnhartsubstanz ähnlicheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu finden.

Es muß abschließend jedoch betont werden, daß bei dieser Untersuchung das Randspaltverhalten nur über einen Zeitraum von vier bzw. fünf Wochen kontrolliert wurde. Es bedarf also noch weiterer Untersuchungen über längere Zeitabschnitte, um eine entgeltige Aussage machen zu können, da in diesem Versuch der Faktor der Wasserlöslichkeit kaum Berücksichtigung finden konnte. Außerdem sind auch noch langjährige klinische Untersuchungen notwendig, die bestätigen, daß die im Laborversuch gefundenen Werte auch unter echten Mundhöhlenverhältnissen Geltung besitzen.

G. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßte sich mit einer neuen Materialgruppe auf dem Sektor der Kunststofffüllungsmaterialien, den Composites. Dabei wurde auch die Anwendung der Säure-Ätz-Technik als Vorbehandlung vor der eigentlichen Füllung mit einem Composite-Material berücksichtigt. Neben einer Skizzierung ihrer Eigenschaften und Verbesserungen gegenüber den herkömmlichen Methylmethacrylat-Kunststoffen war das Hauptthema die Untersuchung des Randspaltverhaltens dieser Materialien unter bestimmten Bedingungen.

Zu diesem Zweck sind pro Untersuchungsreihe je sechs Füllungen in die Labialflächen extrahierter Frontzähne und Prämolaren gelegt worden, deren Füllungsrande auf vorhandene Randspalten hin überprüft wurden. Die Präparation der Kavitäten und ihre Vorbereitung für die Aufnahme der Füllung erfolgte nach den allgemein gültigen und bekannten Grundsätzen der Kavitätenpräparation. Die Verarbeitung der Materialien ist nach den Vorschriften der Hersteller vorgenommen worden.

Getestet wurden die Materialien Palakav, Estic, Adaptic, Concise, Concise Enamel Bond und in einem Zusatzversuch Palakav nach vorherigem Anätzen. Die Untersuchung des Randspaltes erfolgte unter dem Photomikroskop II der Firma Zeiss bei Auflicht im Hellfeld bei einer Vergrößerung 1 : 100. Diese Methode ermöglichte eine Messung der tatsächlichen Randspaltbreiten und -längen. Charakteristische Füllungsrandabschnitte konnten fotografiert werden.

Die Füllungen wurden zunächst nach dem Legen und der Nachbearbeitung des Füllungsrandes untersucht, dann nach einer Woche und nach vier Wochen, während denen die Zähne bzw. die Füllungen im Wärmeschränk bei 37°C in physiologischer Kochsalzlösung lagerten. Nach einer weiteren Woche sind sie dann in einem Wechselltauchversuch Temperaturschwankungen von 0°C auf 80°C ausgesetzt worden. Bei Adaptic hat man einen möglichen Einfluß der unterschiedlichen Nachbearbeitung des Füllungsrandes mit einem Hartmetallfinnierer oder einem Diamantschleifstein geprüft.

Die Ergebnisse zeigten bei den Bowen-Composites am allgemeinen ein befriedigendes Randspaltverhalten. Die Spaltbreiten dieser Materialgruppe lagen bei der Erstuntersuchung in einem Bereich von $1,6 - 6,6 \mu$. Durch die Lagerung in der Kochsalzlösung kam es durch wasseraufnahmebedingte Quellung der Füllungsmaterialien nach einer Woche zu einer allgemeinen Verkleinerung der Spalten, die sich nach vier Wochen nur noch unwesentlich änderte. Die Temperaturbelastung in den Wechseltauchversuchen führte dann jedoch zu einer Verschlechterung, was auf den noch verbesserungsbedürftigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten dieser Materialien hinweist. Die Composite-Füllungen, die nach der Säure-Ätz-Technik gelegt wurden, also Estick- und Concise Enamel Bond-Füllungen, wiesen durchschnittlich bessere Ergebnisse auf als die ungeätzten Füllungen mit Adaptic und Concise. Die Nachbearbeitung des Füllungsrandes bei Adaptic-Füllungen mit Hartmetallfinnierer oder Diamant hatte auf das Randspaltverhalten insgesamt nur eine geringe Auswirkung, wobei die finnierten Füllungen allgemein etwas besser abschnitten.

Schlechter waren die Ergebnisse der Palakav-Füllungen, da nahezu alle Füllungen nach dem Legen einen Spaltbereich über 20μ Breite aufwiesen. Durch die Lagerung in Wasser wurden die Randspaltverhältnisse nur unwesentlich verändert, während die Temperaturbelastung eine deutliche Verschlechterung erbrachte. Sehr günstig wirkte sich die Anätzung der Kavität vor Einbringung des Palakav-Kunststoffes auf das Randspaltverhalten dieses Materials aus. Die Spaltbreiten nach dem Legen waren wesentlich verringert, bei den übrigen Nachuntersuchungen ließen sich kein direkter Vergleich zu den ungeätzten Füllungen wegen der abweichenden Zeiten anstellen, jedoch deuteten die Ergebnisse auch hier auf eine deutliche Verbesserung des Randschlusses durch die Wasseraufnahme hin.

Zusammenfassend darf nach diesen Untersuchungen gesagt werden, daß die Composite-Kunststoff-Füllungsmaterialien nach der Bowen-Formel hinsichtlich ihrer Randschlußeigenschaften

den Forderungen, die diesbezüglich an ein Füllungsmaterial gestellt werden, gerecht werden und den herkömmlichen Füllungskunststoffen überlegen sind. Das momentan erreichbare Optimum an Randschlußqualität kann jedoch nur bei gleichzeitiger Anwendung der Säure-Ätz-Technik erzielt werden.

Es bleibt zu hoffen, daß es den Herstellern einmal gelingt, ein Material für absolut randdichte Füllungen zu entwickeln, denn die beste Füllung ist eine Füllung ohne jeden Randspalt.

H. S c h r i f t t u m

(1) ALBERT, H.-M.

Spaltbreiten und -tiefen bei Amalgam- und
Gußfüllungen
Med. Diss. FU Berlin 1966

(2) ASMUSSEN, E. und JØRGENSEN, K.D.

A microscopic Investigation of the Adaption of
some Plastic Filling Materials to Dental Cavity
Walls
Acta odont. scand. 30, 3-21 (1972)

(3) BLASER, U.

Randdichtigkeit und Haftvermögen neuer Kavitäten-
füllmaterialien auf Kunststoffbasis
Med. Diss. Heidelberg 1969

(4) BOCK, O. und SCHMERWITZ, H.

Prüfung der Füllungsstoffe "Karat 63" und
"New Biofil"
Dtsch. Zahnärztebl. 18, 304-307 (1964)

(5) BOWEN, R.L. und ARGENTAR, H.

Tertiary Aromatic Amine Accelerators with molecular
Weights above 400
J. dent. Res. 51, 473-482 (1972)

(6) BUONOCORE, M.G.

A simple Method of Increasing the Adhesion of
Acrylic Filling Materials to Enamel Surfaces
J. dent. Res. 34, 849-853 (1955)

(7) CADWELL, D.E. und JOHANNESSEN, B.

Adhesion of Restorative Materials to Teeth
J. dent. Res. 50 1517-1525 (1971)

- (8) CASTAGNOLA, L. und GARBEROGLIO, R.
Heutiger Stand und Zukunftsaussichten der
plastischen Füllungsmaterialien (II)
Quintess. zahnärztl. Lit. 23, 7-14 (1972)
- (9) CHRISTEL, E.
Untersuchungen über die Abschlußdichtigkeit des
schnellhärtenden Kunstharzes Palavit und anderer
in der Zahnheilkunde gebräuchlicher Füllungsmaterialien
Med. Diss. FU Berlin 1953
- (10) CHRISTEN, A.G. und MITCHEL, D.F.
A Fluorescent Dye Method for Demonstrating Leakage
around Dental Restorations
J. dent. Res. 45, 1485-1491 (1966)
- (11) CRAWFORD, W.H. und LARSON, J.H.
Fluid Penetration between Fillings and Teeth
Using Ca⁴⁵
J. dent. Res. 35, 518-522 (1956)
- (12) DENNISON, J.B. und CRAIG, R.G.
Physical Properties and Finished Surface Texture
of Composite Restorative Resins
J. Amer. dent. Ass. 85, 101-108 (1972)
- (13) DURNER, H.
Sind die Composite-Füllungen praxisreif?
ZWR 81, 764-768 (1972)
- (14) ERGÜN, M.F.
Zur makrophotographischen Beurteilung von
Silikatfüllungen
Med. Diss. Frankfurt 1966
- (15) FISCHER, C.H. und SONNABEND, E.
Selbsthärtende Kunststoffe in der Zahnheilkunde
Zahnärztl. Welt 6, 7-14 (1951)

- (16) FISCHER, C.-H.
Wo stehen wir heute mit der Kunststoff-Füllung?
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 466-471 (1974)
- (17) FISCHER, C.-H., STRASSBURG, M. und KNOLLE, G.
Möglichkeiten und Erfahrungen in der Füllungs-
therapie mit einem haftfähigen Kunststoff
ZWR 79, 183-188 (1970)
- (18) FISCHER, C.-H., STRASSBURG, M., KNOLLE, G. und
KUNZE, H.J.
Experimentelle Untersuchungen zum Dimensionsver-
halten eines neuen Kunststoff-Füllungsmaterials
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 2-13 (1970)
- (19) FISCHER, C.-H., KNOLLE, G. und TAN, A.
Zur klinischen Kontrolle von Zahnfüllungen aus
einem neuen Kunststoff-Füllungsmaterial
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 251-257 (1969)
- (20) FISCHER, M.
Experimentelle Untersuchungen über die Abschluß-
dichtigkeit der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen
Füllungsmaterialien
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 59, 595-632 (1949)
- (21) FUCHS, W.B. und MAYER, R.
Eine Methode zur Prüfung des Randschlusses einge-
setzter Gußfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 625-629 (1970)
- (22) GRÄF, W.
Die thermische Belastung der Zähne beim Verzehr
extrem heißer und kalter Speisen
Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 30-34 (1960)
- (23) HANK, P.
Klinische Eignungsprüfung des Hesacryl als Füllungs-
material
Med. Diss. Frankfurt 1952

- (24) HARR, E.

Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Fülltechniken insbesondere mit der Frontzahn-Matrize nach Walser auf den Randschluß verschiedener zahnärztlicher Füllmaterialien
Med. Diss. Tübingen 1954

- (25) HEUSER, H.

Oberflächenhistologische Untersuchungen über den Randschluß von Amalgamfüllungen in Hinsicht auf Säureeinwirkungen
Stoma 1, 5-7 (1948)
Stoma 2, 16-27 (1949)

- (26) HORNING, K.-E.

Vergleichende experimentelle Untersuchungen älterer und neuerer Frontzahnfüllungsmaterialien
Med. Diss. Tübingen 1968

- (27) HORWITZ, B.A., KLEIN, A.J. und MC DONALD, R.E.

Intraoral Television Micromeasurement of Cavity Margin Deterioration
J. dent. Res. 46, 700-707 (1967)

- (28) HUNKIRCHEN, M.

Die Veränderung des Randschlusses von Amalgamfüllungen in Abhängigkeit von ihrer Liegedauer
Dtsch. Zahnärztebl. 23, 160-170 (1969)

- (29) KLEVEKORN, F.

Experimentelle Untersuchungen einiger provisorischer Verschlußmaterialien auf deren Farbdurchlässigkeit und Bakteriendichte
Med. Diss. Mainz 1951

- (30) SPRETER VON KREUDENSTEIN, TH. und STÜBEN, J.
Ein neues Füllungsmaterial und seine Eigenschaften
("Cadurit")
Zahnärztl. Prax. 13, 124-126 (1962)
- (31) SPRETER VON KREUDENSTEIN, TH.
Thermische Volumenänderung und Randschluß von Füllungen
aus schnellhärtendem Kunststoff
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 143-148 (1953)
- (32) SPRETER VON KREUDENSTEIN, TH.
Kunststofffüllungen
Öst. Z. Stomat. 53, 289-294 (1956)
- (33) KRÖNCKE, A. und MOGG, E.
Untersuchungen über das Frontzahnfüllungsmaterial
"Cadurit"
Zahnärztl. Welt 62, 280-283 (1961)
- (34) LASWELL, H.R., WELK, D.E. und REGENOS, J.W.
Attachment of Resin Restoration to Acid pretreated
Enamel
J. Amer. dent. Ass. 82, 558-563 (1971)
- (35) LÄMMER, W.
Lichtmikroskopische Oberflächenuntersuchungen von
Goldgußfüllungen und Zementfüllungen mit Hilfe der
Replika-Technik
- (36) LEE JR, H.L., SWARTZ, M. und SMITH, F.F.
Physical Properties of Four Thermosetting Dental
Restorative Resins
J. dent. Res. 48, 526-535 (1969)
- (37) LEE JR, H.L., und SWARTZ, M.
Scanning Electron Microscope Study of Composite
Restorative Materials
J. dent. Res. 49, 148-159 (1970)

- (38) LÜTTGE, K.

Klinische Untersuchungen über den Randschluß von
Füllungen unter besonderer Berücksichtigung der
schnellhärtenden Kunststoffe
Med. Diss. Göttingen 1955

- (39) LUTZ, F. und BURKART, R.

Das Concise Enamel Bond System, eine Alternative?
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 84, 1113-1129 (1974)

- (40) MASUHARA, E.

Über die Chemie eines neuen haftfähigen
Kunststoff-Füllungsmaterials
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 620-628 (1969)

- (41) MC CURDY jr., C.R., SWARTZ, M.L., PHILLIPS, R.W.
und RHODES, B.F.

A Comparison of in vivo and in vitro Mikroleakage of
Dental Restorations
J. Amer. dent. Ass. 88, 592-602 (1974)

- (42) MC LEANE, J.W. und SHORT, J.G.

Composite anterior Filling Materials: A clinical and
physical Appraisal
Brit. dent. J. 127, 9-18 (1969)

- (43) MORTENSEN, D.W., BOUCHER jr., N.E. und RYGE, G.

A Method of Testing for Marginal Leakage of
Dental Restorations with Bacteria
J. dent. Res. 44, 58-63 (1965)

- (44) NIEJAHR, I.

Oberflächenhistologische Untersuchungen über den
Randschluß von Amalgamfüllungen in Hinsicht auf
Säureeinwirkungen
Med. Diss. Marburg 1954

- (45) NEUSCHELER, K.
Klinische und experimentelle Untersuchungen an
Cadurit Füllungen
Med. Diss. Tübingen 1964
- (46) PHILLIPS, R.W.
Füllungsmaterialien im Wandel der Zeiten
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 79, 1015-1031 (1969)
- (47) REHBERG, H.J.
"Composite Filling Materials" - Einleitungsvortrag für
das Round-Table-Gespräch der Fortbildungsveranstaltungen
in Salzburg und Meran
Zahnärztl. Mitt. 63, 159-164 (1973)
- (48) REINL, M.
Experimentaluntersuchungen zur quantitativen Erfassung
kapillarer Spaltbildungen an plastischen Füllungs-
mitteln
Med. Diss. FU Berlin 1954
- (49) RIEDEL, H., VIOHL, J. und WINKELMANN, G.
Untersuchungen über die Mikromorphologie getragener
Palakavfüllungen mit Hilfe des Raster-Elektronen-
Mikroskopes
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 267-273 (1971)
- (50) SCHIERMAYER, E.
Untersuchungen über die Anwendung von "Palavit" als
Füllungsmaterial in der konservierenden Zahnheilkunde
Med. Diss. Marburg 1954
- (51) SCHROEDER, A.
Stand der Erfahrungen auf dem Gebiet der neuen Kunststoff-
Kompositionsmaterialien auf Basis der Bowen-Formel
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 81, 999-1010 (1971)

- (52) SCHROEDER, A.

Gegenwart und Zukunft auf dem Sektor der plastischen
Kavitätenfüllmaterialien
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 80, 944-961 (1970)

- (53) SCHULZE-LANGENDORFF, J.

Vorläufige klinische Erfahrungen mit schnellhärtenden
Kunststoffen bei der Zahnerhaltung
Med. Diss. Göttingen 1953

- (54) SIECK, H.W.

Experimentelle Untersuchungen über die Randspalt-
verhältnisse von Wurzelfüllungen und Kavitätenfüllungen
unter Anwendung einer Lösung von radioaktivem Phosphor
(^{32}P)
Med. Diss. Kiel 1955

- (55) SONNABEND, E.

Selbsthärtende Kunststoffe in der Zahnheilkunde
Med. Diss. Göttingen 1950

- (56) STÜBEN, J. und KÖCK, B.

Werkstoffkundliche Untersuchungen über einige
Eigenschaften des neuen Kunststoff-Füllungsmaterials
"Palakav"
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 538-546 (1970)

- (57) TAN, A.

Die klinische Kontrolle von Zahnfüllungen aus einem
neuen Kunststoff-Füllungsmaterial
Med. Diss. Düsseldorf 1968

- (58) TANI, Y. und BUONOCORE, M.G.

Randschlußfehler und Eindringen von basischem Fuchsin-
farbstoff in Frontzahnfüllungsmaterialien
Quintess. zahnärztl. Lit. 20, Ref. 3957 (1969)

- (59) TRIADAN, H.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zweier
"Composite"-Füllungsmaterialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 806-809 (1974)

- (60) UY, K.C. und CHANG, R.

An Approach to the Study of the Mechanism of Adhesion
to Teeth in Adhesive Restorative Dental Materials -II-
Government Printing Office, Washington, 103-131 (1964)

- (61) VELKOVA, A.

Wertung der Silikatfüllung vom Gesichtspunkt des Rand-
schlusses mit Hilfe radioaktiver Isotopen
Dtsch. Stomat. 11, 294-298 (1961)

- (62) WANNENMACHER, E. u.a.

Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde, Band 2
Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1969, S. 650

- (63) WEBER, H.

Untersuchungen über Härte, Löslichkeit und Randspalt-
verhalten von "3 M Addent 35" im Vergleich zu zwei
gängigen Silikatzementen
Med. Diss. 1969 Erlangen-Nürnberg

- (64) WEIKART, P.

Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hanser, München 1964, S. 157

- (65) WURTHMANN, K.-W.

Experimentelle Untersuchungen mit radioaktivem
Phosphor über die Spaltraumbildung bei Füllungen
und deren Verhütung
Med. Diss. Kiel 1956

I. Lebenslauf

- 19.3.1948 geboren in Adelsdorf/Ofr. als Sohn des Landpolizeibeamten Alois Martin und seiner Ehefrau Dora Martin, geborene Neukamm
- 1954-1959 Volksschule in Schlüsselfeld/Ofr.
- 1959-1964 Neues Gymnasium in Bamberg
- 1964-1968 Carl-von-Linde Gymnasium in Kempten
- 23.7.1968 Abitur am Carl-von-Linde Gymnasium in Kempten
- 1968-1974 Studium der Zahnmedizin an der Universität München
- 1.2.1974 Staatsexamen
- 1.4.1974-
31.3.1976 Stabsarzt der Bundeswehr in den Zahnstationen in Starnberg, Landsberg und Bundeswehrkrankenhaus Kempten
- 27.9.1974 Heirat mit Sieglinde Roß
- ab
1.4.1976 Assistenzzahnarzt
- 1974-1976 Doktorand bei Prof. Dr. E. Sonnbend, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität München

